

**ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN İKİ FAZLI YALITIMSIZ
FAZ KAYDIRMALI ÇİFT YÖNLÜ DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ
TASARIMI VE UYGULAMASI**

Faruk Burak GÖKDEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2013

ANKARA

Faruk Burak GÖKDEN tarafından hazırlanan "ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN İKİ FAZLI YALITIMSIZ FAZ KAYDIRMALI ÇİFT YÖNLÜ DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ TASARIMI VE UYGULAMASI" adlı bu tezin Yüksek Lisans olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. İbrahim SEFA

Tez Danışmanı, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Timur AYDEMİR

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Hamit ERDEM

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Başkent Üniversitesi

Doç. Dr. İbrahim SEFA

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 16/12/2013

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Faruk Burak GÖKDEN

**ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN İKİ FAZLI İZOLESİZ FAZ KAYDIRMALI
ÇİFT YÖNLÜ DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ
TASARIM VE UYGULAMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Faruk Burak GÖKDEN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KASIM 2013**

ÖZET

Enerjinin günümüzde artan önemi ve üretim maliyetlerinin artması araştırmacıları bu alanlarda çalışmaya yöneltmiştir. Ayrıca, daha temiz çevre bilincinin oluşması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının genel tüketimdeki oranının hızla artması gibi sebepler güç elektroniğinin hemen her alanda yaygınlaşmasına sebep olmaktadır. Böylece dağıtılmış güç üretim sistemleri ve enerjinin depolanması konuları güç elektroniğinin önemini daha da artırmıştır. Fosil kaynaklı yakıtların bir müddet sonra ihtiyaca karşılayamayacak olması ve maliyetlerindeki artışlar, taşımacılık alanında da elektrikli araç kavramının araştırılmasına ve geliştirilmesine neden olmuştur. Bu çalışmada elektrikli araç teknolojisinin günümüze kadar olan dönemde nasıl bir gelişme sağladığı, teknolojinin gelişmesine paralel olarak gelişen ve değişen elektrikli araç türleri incelenmiştir. Elektrikli araçların tahrik sisteminde tüketilen elektrik enerjisinin şebekeden veya yakıt pilinden sağlanması durumlarında en büyük problem, elektrik enerjisinin kısa veya uzun süreli depolanmasındaki zorluk olarak ortaya çıkmaktadır. Depolama elemanlarının yüksek maliyetli ve teknolojik olarak birçok konuda yeterli özelliklerde olmamasıdır. Bu problemi en aza indirmek amacıyla frenleme esnasında kaybedilecek enerjinin yeniden kaynağa aktarılması doğru bir yaklaşım olarak kabul görmüştür. Çift yönlü DA-DA dönüştürücülerin kullanımı ile sistemin verimi yükselmekte, boyutları

küçülmekte ve frenleme enerjisi daha düşük dalgacık ile kaynağa geri aktarılmaktadır. Yapılan çalışmada, dönüştürücü bir DA motor sürücüsü ile test edilmiştir.

Bilim Kodu : 703.3.012

Anahtar Kelimeler : Elektrikli araç, çift yönlü DA-DA, faz kaydırma

Sayfa Adedi : 80

Tez Yöneticisi : Doç. Dr. İbrahim SEFA

**DESIGN AND IMPLEMENTATION
NON-ISOLATED INTERLEAVED TWO PHASE BI-DIRECTIONAL DC-DC
CONVERTER FOR ELECTRICAL VEHICLES
(M.Sc. Thesis)**

Faruk Burak GÖKDEN

**GAZİ UNİVERSİTY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
KASIM 2013**

ABSTRACT

Today, increasing importance of energy and production costs have led researchers to work in these areas. In addition, the formation of a cleaner environmental awareness and the overall consumption of renewable energy sources, such as the rapid increase in the rate of spread of the reasons is caused almost every area of power electronics. Thus, distributed power generation systems have increased the importance of power electronics and energy storage issues. After a while of fossil fuels not to meet that need and the increasing costs have led to research and development in the concept of electric vehicles for the transportation field. In this study, how the development of electric vehicle technology, provide up to the present time, evolving and changing with the development of electric vehicle technology types examined. Electrical energy consumed in the propulsion system of electric vehicles, fuel cells, or the provision of power supply in the event of a major problem, short or long term storage of electrical energy is emerging as a difficulty. Storage elements which many regard as the high cost and technological properties are not sufficient. In order to minimize this problem, re-sources of energy lost during braking, the transfer has been accepted as a correct approach. By the usage of bi-directional DC-DC converter, the efficiency is increased, the dimensions are reduced and

the braking energy is transferred back to the source. In this study, the converter has been tested on a DC motor drive.

Science Code : 703.3.012

Key Words : Electrical vehicle, bi-directional DC-DC, interleaved

Page Number : 80

Adviser : Assoc. Prof. Dr. İbrahim SEFA

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla ben yönlendiren Hocam Doç. Dr. İbrahim SEFA'ya yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocalarım Yrd. Doç. Dr. Necmi ALTIN ve Öğr. Gör. Dr. Şaban ÖZDEMİR'e ayrıca manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme, değerli çalışma arkadaşlarım Abdullah ÖZSAN ve Selami BALCI hocama teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR	4
2.1. Elektrikli Araçların Tarihi Gelişimi	4
2.2. Tümü-Elektrikli Araçlar	8
2.2.1. Tümü-elektrikli araçların avantajları	12
2.2.2. Tümü-elektrikli araçların dezavantajları.....	12
2.3. Hibrit Elektrikli Araç.....	14
2.3.1. Hibrit elektrikli araçların avantajları	16
2.3.2. Hibrit elektrikli araçların dezavantajları	17
2.3.3. Seri hibrit elektrikli araçlar	18
2.3.4. Paralel hibrit elektrikli araç	19
2.3.5. Seri - paralel hibrit elektrikli araç.....	21
2.4. Yakıt Pilli Elektrikli Araçlar	22
2.4.1. Yakıt pilli elektrikli araçların avantajları	23
2.4.2. Yakıt pilli araçların dezavantajları	24
2.5. Faydalı frenleme	24
3. DEPOLAMA ELEMANLARI	26
3.1. Volan Sistemi.....	28
3.2. Süperkapasitör Sistemi	29
4. GÜÇ YÖNETİM SİSTEMİ.....	32
4.1. Yalıtımlı Tip Çift Yönlü DA-DA Dönüştürücüler	34
4.1.2. DC-DC Dönüştürücü modülasyon metotları.....	37

4.1.3. Seri rezonans tip yalıtımlı çift yönlü da-da dönüştürücüler	38
4.1.4. Paralel rezonans tip yalıtımlı çift yönlü da-da dönüştürücüler	43
4.2. Yalıtımsız Tip Çift Yönlü DA-DA Dönüştürücüler	47
4.2.1. Bir fazlı yalıtımsız tip çift yönlü da-da dönüştürücüler	48
5. İKİ FAZLI YALITIMSIZ FAZ KAYDIRMALI ÇİFT YÖNLÜ DÖNÜŞTÜRÜCÜ	53
5.1. Anahtarlama Sinyalinin Elde Edilmesi	55
5.2. Uygulama Çalışması	56
5.2.1. Sistemin genel çalışma prensibi	57
5.2.2. Devre elemanlarının seçimi	58
5.2.3. Akım ve gerilim okuma devresi	59
5.2.5. Uygulama sonuçları	62
SONUÇ	74
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	80

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1 Motor etiket değerleri.....	63

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1 Tümü elektrikli araç blok diyagramı.....	11
Şekil 2.2 Hibrit elektrikli araç blok diyagramı.....	15
Şekil 2.3 Seri hibrit elektrikli araç blok diyagramı.....	19
Şekil 2.4 Paralel hibrit elektrikli araç blok diyagramı	21
Şekil 2.5 Seri- Paralel hibrit elektrikli araç blok diyagramı.....	22
Şekil 3.1 Süperkapasitör içeren sistemin topolojisi.....	30
Şekil 4.1 "Dual aktif bridge" izoleli çift yönlü da-da dönüştürücüler	36
Şekil 4.2 Devre topolojisine göre kontrollü doğrultucu modu dalga şekilleri	40
Şekil 4.3 Seri rezonans kontrollü tip çift yönlü da-da dönüştürücü	40
Şekil 4.4 Devre topolojisine göre deşarj modu dalga şekilleri.....	41
Şekil 4.5 Seri rezonans eşdeğer devresi	42
Şekil 4.6 Anlık güç transferi durumu dalga şekli	45
Şekil 4.7 Yalıtımsız 3 fazlı çift yönlü da-da dönüştürücü.....	48
Şekil 4.8 Düşürücü konumda çalışma devre şeması.....	50
Şekil 4.9 Düşürücü konumda çalışma.....	51
Şekil 4.10 Yükseltici konumda çalışma devre şeması.....	51
Şekil 4.11 Yükseltici konumda çalışma	52
Şekil 5.1 İzolesi tip faz kaydırmalı çift yönlü da-da dönüştürücü.....	55
Şekil 5.2 Anahtarlama sinyalinin üretilmesi	56
Şekil 5.3 Uygulama devresi prensip şeması.....	57
Şekil 5.4 DA akım okuma ve sinyal şartlandırma devresi	60
Şekil 5.5 DA gerilim okuma devresi	61
Şekil 5.6 Tasarlanan sistemin blok diyagramı.....	61
Şekil 5.7 Aküden motora doğru düşürücü konumda çalışma.....	65
Şekil 5.8 Aküden motora doğru yükseltici konumda çalışma.....	66
Şekil 5.9 Motordan aküye doğru düşürücü konumda çalışma	69
Şekil 5.10 Motordan aküye doğru yükseltici konumda çalışma.....	71

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1 Ayrton Perry elektrikli aracı	4
Resim 2.2 Fiat X1/23 B.....	6
Resim 2.3 Ford Think City tümü elektrikli araç.....	10
Resim 2.4 Toyota Prius hibrit elektrikli araç	15
Resim 3.1 Volan sistemi	29
Resim 3.2 Bir süperkapasitör örneği.....	30
Resim 3.3 Honda markalı elektrikli araçların kullandığı süperkapasitörler	31
Resim 5.1 Peripheral Expolerer Kit fonksiyonları	59
Resim 5.2 Motor-Akü grubu genel görünümü	63
Resim 5.3 Güç ve kontrol sistemi genel görünüşü	64
Resim 5.4 Motorun kalkınma durumu	67
Resim 5.5 Faz kaydırmalı PWM anahtarlama sinyalleri	68
Resim 5.6 Düşürme işlemindeki akü şarj durumu.....	70
Resim 5.7 Yükseltme işlemindeki akü şarj durumu	71
Resim 5.8 Şarj akımlarındaki değişim	72
Resim 5.9 Generatör modu şarj durumu	73

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

V	Açıklama Volt
D	Düşük Gerilim Tarafı
Y	Yüksek Gerilim Tarafı
A	Amper
Wh	Watt/Saat
\$	Dolar
DA	Doğru Akım
AA	Alternatif Akım
W	Watt
KW	Kilowatt
km	Kilometre
LC	İndüktans-Kondansatör
kHz	Kilo hertz
V1	Giriş Gerilimi
V2	Çıkış Gerilimi

Kısaltmalar

CAN	Açıklama Controller Area Network
EA	Elektrikli Araç
TEA	Tümü Elektrikli Araç
HEA	Hibrit Elektrikli Araç
PHEA	Paralel Hibrit Elektrikli Araç
SHEA	Seri Hibrit Elektrikli Araç
SPHEA	Seri-Paralel Hibrit Elektrikli Araç
SMED	Süperiletken Manyetik Enerji Depolama
NiMH	Nikel Metal Hidrit

SOH

State of Healt

SOF

State of Function

ÇYD

Çift Yönlü Dönüştürücü

1. GİRİŞ

Dünyadaki doğal kaynaklar her geçen gün daha fazla insanlığın kullanımına sunulmaktadır. Fakat zamana bağlı olarak gelişen teknoloji, nüfus artışı ve sanayileşmenin artması gibi etmenler sonucunda fosil kökenli yakıtların gelecekte yeterli olmayacağı rapor edilmektedir. Buna paralel olarak, özel araç kullanımının yaygınlaşması, doğal gaz ve dizel jeneratörlerle elektrik üretimi, ısınma için kullanılan doğal gazın artık bir zaruri ihtiyaç haline gelmesiyle fosil kaynaklı yakıtların önemi daha da artmış ve bağımlılık oluşturmuştur. Doğal gaz ve petrol kaynaklarındaki azalma ve bu enerji hammaddelerinin fiyatlarındaki uluslararası bazda artışlar, artık fosil yakıtların yerini alabilecek yeni ve alternatif enerji kaynaklarının araştırılmaya başlanılmasına ve uluslararası çapta bir enerji mücadelesinin başlamasına sebep olmuştur. Yeni kaynak arayışı sebeplerini iki ana başlık altında toplamak gerekirse; bunlardan birincisi sınırlı seviyede olan doğal gaz ve petrol rezervlerinin artık yenilenen teknolojiye ayak uyduramaması, dolayısıyla tekelleşme sebebiyle maliyetlerinin artması ve bu sonuçların ekonomik ve sosyal açıdan etkilerinin büyüklüğüdür. Diğer bir sebep ise fosil kökenli yakıtların kullanılması sonucu ortaya çıkan zararlı gazların sera etkisine sebebiyet vermesidir. Sera gazı etkisi ise dünyanın iklim yapısını bozduğu için geri dönmesi mümkün olmayan sonuçlara yol açmaktadır [1-3 , 9, 10, 15].

Petrol rezervlerinin azalması ve petrole bağlı çevresel felaketlerin artması insanları daha uzun zaman enerji talebini sağlayabilecek ve daha zararsız alternatif enerji kaynaklarını kullanmaya itmiştir. Bu durum endüstriyel olarak gelişmiş ülkelerin bu kaynaklar üzerinde araştırma yaparak araç teknolojilerine öncülük yapmalarını sağlamıştır. Son yıllarda elektrik makineleri, bataryalar ve güç elektroniği teknolojilerindeki gelişmelere paralel elektrikli araç teknolojisinde sağlanan ilerlemeler, yakın dönemde kısmi, uzun dönemde ise bağımlılığın azaltılacağı çözümler vaat etmektedir.

EA kavramı, uzun yıllar önce otomobil sektörünün Ar-Ge bölümlerinden ilk örneklerin üretildiği atölyelere doğru olan yolculuğuna başlamıştır. Seri üretime

doğru olan yolculuğunu ise batarya ömrü hariç olmak üzere yaklaşık günümüz ihtiyaçlarına cevap verebilecek teknolojik seviyeye ulaşmıştır.

Günümüzdeki teknolojik gelişmeler elektrikli araçların yapılması için gerekli olan donanımı da beraberinde getirmiştir. Daha verimli ve daha uzak mesafelere gidebilen araçlar üzerinde çalışılmaya başlanmıştır. Bu durum dünya çapında hibrit ve TEA'lara olan ilgiyi bir anda artırmıştır. Hibrit ve tümü elektrikli araçlara olan ilgi, egzoz gazının dışarı atılmasının etkileyici oranda azalacağı veya tamamen ortadan kalkacağı ve bu araçların yüksek yakıt verimlilikleri sayesinde, petrol kullanımını azaltacağı beklentilerinden kaynaklanmaktadır. Emisyon oranının azalmasındaki en büyük etken elektrik motorlarıdır. Elektrik motorları teknolojinin tarihsel evresinde sürekli olarak geliştirilmektedir. Bu araçlarda uzunca bir dönem o günün teknolojisiyle daha kolay kontrol edilebilen DA motorları kullanılmıştır. Hız kontrolünün kolay olması, başlangıç momentinin diğer elektrik motorlarına göre yüksek olması ve araç besleme sisteminin zaten DA olması, DA motorların tercih edilmesinde en büyük etken olmuştur. Geçmişte ise AC motorların kontrolündeki zorluklar sebebiyle nerdeyse tek seçenek durumunda olmuştur [1-3, 9, 10, 15, 21].

EA teknolojisinin gelişmesiyle aslında ulaşım sektöründe petrole bağımlılığın azaltılabileceği görülmüştür. Ulaşım sektörü kaynaklı zararlı gazların azaltılması ve petrole bağımlılığın düşürülmesi için en kısa vadeli çözüm ise elektrikli araçlardır. ABD hükümeti 2009 yılında aldığı bir kararla elektrikli araçları fosil yakıtlara alternatif olarak tanımlamış ve 2015 yılına dek bir milyon EA'nın yollara çıkması yönünde milli bir hedef belirlemiştir. Bu amaçla federal hükümet, eyaletler ve yerel hükümetler tarafından elektrikli araçları teşvik edici birçok yasal düzenleme yapılmıştır.

Enerjinin bu kadar önem kazanmasından dolayı bu tip sistemlerde güç elektroniği teknolojisi EA'larda enerjinin devamlılığı için güç yönetimi sistemleri geliştirmiştir. EA'larda güç yönetimi araçtaki enerjinin devamlılığı ve sürüş yönetimi için önemli rol oynamaktadır. Güç yönetiminden depolama elemanlarına veya elektrik motorlarına zamanında ve yüksek kalitede enerji dönüşümü yapması beklenmektedir.

Böylece, kullanılan sisteme göre aracın iyi veya kötü olarak sınıflandırılmasına yol açılmış olmaktadır [4, 9, 10, 15, 36, 39].

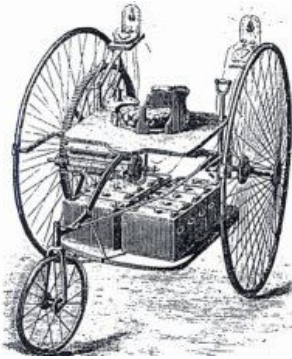
Bu çalışmada elektrikli araçların frenleme esnasındaki enerjisinin aynı güç elektroniği dönüştürücüsü üzerinden geri kazanılması amaçlanmıştır. Bu sayede elektrikli araçların en büyük problemi olan enerji depolama elemanlarının daha verimli kullanılması, sistemin genel veriminin artırılması ve mekanik fren sistemlerinin ömrünün uzatılması hedeflenmiştir. Sistemin daha kararlı ve hızlı çalışması için Texas Instrument'in TMS320F28335 işlemcisi Code Composer Studio V3.3 yardımı ile programlanarak kullanılmıştır.

Birinci bölümde geçmişten günümüze üretilen elektrikli araçlara örnek verilmiş, elektrikli araçların günümüze kadar olan gelişimleri anlatılmıştır. İkinci bölümde elektrikli araçların enerji kaynakları ve mekanik yapı olarak hangi başlıklar altında incelendiği ve bu tip elektrik araçların temel teknolojik yapıları anlatılmıştır. Üçüncü bölümde ise elektrikli araçlarda kullanılan enerji depolama elemanları avantaj ve dezavantajları da dikkate alınarak incelenmiştir. Dördüncü bölümde çift yönlü güç dönüştürücüler yalıtımlı ve yalıtımsız olarak gruplandırılmış, topoloji, avantaj ve dezavantajları dikkate alınarak incelenmiştir. Son bölümde ise uygulanmada kullanılan topoloji ve uygulamanın nasıl yapıldığı anlatılmıştır.

2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

2.1. Elektrikli Araçların Tarihi Gelişimi

İlk EA modeli 1835 yılında Hollanda’da Profesör Stratingh tarafından yapılmıştır. 1834–1836 yılları arasında Thomas Davenport tarafından ABD’de elektrikli yol aracı geliştirilmiş ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu araç üç tekerlekli olmakla beraber şarj edilmeyen bataryalarla tahrik edilmiştir. 4 yıl sonra Robert Davidson şarj edilemeyen batarya ile tahrik edilen elektrikli lokomotif geliştirmiştir. 1859 yılından sonra kursun-asit bataryaları geliştirilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır. 1882 yılında İngiltere’de Prof. William Ayrton ve John Perry elektrik tahrikli 3 tekerlekli araç yapmıştır. Resim 2.1’ de görülen Ayrton Perry elektrikli araçlarının her birinde 10 tane kursun-asit batarya kullanılmıştır.



Resim 2.1 Ayrton Perry elektrikli aracı

Aracın menzili araziye bağlı olarak 16–20 km arasında olup azami hızı ise 14 km/saattir. Bundan 3 yıl sonra Carl Benz İYM ile 3 tekerlekli aracı geliştirmiştir [1, 2, 7].

EA’larla ilgili bu ilerlemeler olurken, İYM’ler de hızla geliştirilmeye devam etmiştir. 1900 yılında Amerika’da üretilen araçların 1684 tanesi buhar tahrikli, 1575 tanesinin elektrik tahrikli ve 963 tanesinin de İYM’li olduğu belirtilmektedir. Amerika’da bu gelişmeler devam ederken, 1897 yılında İngiltere’de “Londra Elektrikli Taksi Şirketi” (London Electrical Cab Company) tarafından 15 tane taksi kullanıma

alınmıştır. 19. yüzyılın son dönemlerine doğru Amerika, İngiltere ve Fransa’da birçok şirket elektrikli araç üretmeye başlamıştır. Bu üreticilerden en önemlisi Morris ve Salomon’un sahibi olduğu Electric Carriage and Wagon Company adlı şirkettir. Morris ve Salomon 1895 yılında 2 oturma koltuğu olan Electrobats isimli elektrikli aracı geliştirmişlerdir.

1900–1912 arası dönemde menzil ve performansı arttırma düşüncesi oluşmaya başlamıştır. Bu amaçla 1900 yılında French Electroautomobile ve 1903 yılında Krieger elektrikli-benzinli araçları geliştirmiştir. Bu araçta elektrik motoru, benzinli motor ile birlikte kullanılmış ve ilk defa hibrit yapılandırması denenmiştir. Bu dönemlerde Ferdinand Porsche ilk deneysel hibrit elektrikli aracın tasarımını yapmıştır. Mixt Wagen olarak adlandırılan bu araçta yardımcı bir benzinli motor kullanılmıştır. Yardımcı motor bataryaları şarj eden generatörü tahrik etmektedir ve daha sonra elektrik motorunu döndürmektedir. 1916 yılında Woods hibrit elektrikli araç üretilmiştir. Bu araçta 4 silindirli küçük benzinli motor doğrudan elektrik motoru/generatörü grubuna ve daha sonra geleneksel itici şaftıyla ön tahrik aksına bağlanmıştır. Bu düzenleme ile paralel hibrit elektrikli araç geliştirilmiştir. 1920’lerin başında ise hemen tüm elektrikli araç üreticileri İYM kullanarak üretimlerini sürdürmüşlerdir. 1920’lerin ortasından itibaren 1960 yıllara dek İYM’lu araçlar tüm dünyada tamamen üstünlük kurmuştur. 1960’lı yıllarda EA’lara duyulan ilgi yeniden artmaya başlamıştır. İYM’lardan kaynaklanan hava kirliliği bu araçların üretimine geçiş düşüncesini oluşturmuş ve bazı küçük üreticiler hava kirliliğine karşı EA’ların üretimine geçmiştir. Üretilen çoğu elektrikli araç, geleneksel araçların elektrikli hale dönüştürülmüş seklidir. Örneğin 1960’da Illinois’deki Eureka Williams Şirketi 4 kapılı Renault Dauphine’i elektrikli yapıya dönüştürmüştür [2, 7].

1967 yılında ilk örnek yapılmış ve Comuta adı verilmiştir. Comuta her biri ön tekeri tahrik eden 2 tane DC motoruna sahiptir. Her motor 18 kg ağırlığında ve 14 cm çapındadır. Motorun titreşimini kontrol eden bir sistem geliştirilmiştir. Aracın gücü, toplam ağırlığı 170 kg olan 4 adet kursun-asit bataryasından sağlanmaktadır. Araç 40 km/saat hız ile 64 km menzile sahip olup; azami hızı 64 km/saattir. 1968 yılında General Electric (GE), GE Delta aracının uygulamasını ortaya çıkartmıştır. Bu aracın

menzili 64 km, azami hızı da 89 km/saattir. Bu araçta nikel demir bataryaları kullanılmıştır. Aynı yıl Ford, nikel-kadmiyum bataryaları kullanarak deneysel E-Car aracının örneğini yapmıştır. Bu dönemde, AA tahrikindeki çok önemli bir gelişme olmadıkça kabul edilebilir menzil ve performansa sahip EA'ların üretiminin zor olduğu görülmüştür. 1970'lerin ortalarına doğru petrol krizi ile birlikte basta Amerika, İngiltere, Fransa, Almanya, İtalya ve Japonya gibi birçok ülke, elektrikli araç araştırmalarına tekrar hız vermişlerdir. Amerika'daki bazı küçük firmalar geleneksel araçları elektrikli hale dönüştürme çabalarına girmiştir.

Avrupa'da 1970'li yıllar EA için çok aktif bir dönemdir. 1973'de Electricite de France 80 tane geleneksel aracı elektrik tahrikli hale dönüştürmüştür. Almanya'da Daimler-Benz ve Volkswagen ise deneysel EA'lar yapmışlardır. 1975 yılında İtalya'da Fiat X1/23 B isimli deneysel bir örnek geliştirmiştir. Resim 2.2'de ilk elektrikli arabalardan olan Fiat X1/23 B görülmektedir. Bu araç 2 kişilik olup kursun-asit bataryaları içermekte ve DA elektrik motoru tarafından tahrik edilmektedir. Aracın menzili 48 km ve azami hızı ise 64 km/saatin altındadır.



Resim 2.2 Fiat X1/23 B

Japonya'da 1970'li yıllar boyunca Daihatsu, Toyota, Mazda ve Mitsubishi birlikte örnek EA'lar üzerine çalışmışlardır. Bu çalışma için Japonya hükümeti tarafından 1971–1976 yılları arasında 20 milyon dolarlık destek sağlanmıştır. İlk araçlarda kursun-asit bataryalarıyla birlikte DA tahriki kullandıkları ve 1980'lerden itibaren

AA tahrikinin kullanılmaya başlandığı görülmektedir. 1980’li yıllarda hükümetler EA’ların çevresel avantajları nedeniyle bu araçlara karşı ilgi duymaya ve elektrikli araç programları için resmi kaynaklardan parasal destek vermeye başlamışlardır. Böylece 1980 yılların ortalarında ABD Enerji bakanlığının sponsorluğu ile Ford/GE tarafından ETX-1 aracının geliştirilmesi sağlanmıştır. Bu araçta ileri AA tahrik sistemi kullanılmıştır. 200 V’luk kursun-asit bataryaları, 300AA güç üreten Darlington transistör temelli evirici ile birlikte 37 kW’lık 2 kutuplu indüksiyon motorunu tahrik etmek için kullanılmıştır. 1988 yılında Ford ve GE birlikte ETX-1 isimli aracın AA tahrikli sistemini geliştirmiş ve sodyum-sülfür bataryaları kullanmışlardır. Temel olarak Ford Araştırma Laboratuvarlarında geliştirilen evirici, sürekli mıknatıslı senkron motoru sürmektedir. Bu motor, 2 kademeli entegre dişli kutusu ile taşıtın ön aksına monte edilmiştir. 160 km menzile sahip ve 96 km/saat hızı olan ve sodyum-sülfür bataryaları da içeren 2 tane ETX-2 örneğini üretilmiştir. Bu 2 araç 1988 yılı Aralık ayında ABD enerji bakanlığına teslim edilmiştir.

Fransa’da 1988 yılında 500 kadar elektrikli araç deneysel olarak kullanılmıştır. Bu araçların çoğu Peugeot 205 ya da Citroen C15 modellerinin dönüşümleridir. Almanya’da 1970’lerin sonlarındaki deneysel araçlar daha geliştirilmiştir ve 1988 yılında GES City Stromer isimli aracın dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Taşıt, o dönemin Avrupa Güvenlik Standartlarını karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Aynı dönemde İtalya’da Fiat Panda Elettra modelinin dönüşümü olan elektrikli aracı geliştirmiştir. 1988’de Japonya’da AA tahrikli sistemler DA tahrikli sistemlerin yerini almış ve bunun sonucunda hem kurşun-asit hem de nikel-demir bataryaları ile senkron ve indüksiyon motorlar otomobillerin tahrik sistemlerinde kullanılmıştır [1, 2, 7].

EA’ların tarihçesindeki dönüm noktaları aşağıdaki gibi sıralanabilir [7];

- 1800 Volta primer hücre ve bataryayı geliştirdi.
- 1821 Faraday elektrik motorunun temel prensibini ortaya koydu.
- 1834 Davenport primer bataryalı ilk elektrikli yol aracının uygulamasını yaptı.

- 1859 Plante sekonder hücre ve bataryayı geliştirdi.
- 1869 Gramme 1 beygir gücü (BG)' den daha fazla ilk DA elektrik motorunu yaptı.
- 1881 Trouve sekonder bataryalı ilk elektrikli aracı yaptı.
- 1885 Benz ilk İYM'li aracın uygulamasını gerçekleştirdi.
- 1887–98 Avrupa'da ve Amerika'da kullanılan EA'ların menzili geliştirildi.
- 1899 Jenatzy 105,9 km/saat ile dünya hız rekorunu kırmış ve bu rekoru 3 yıl elinde tutmuştur.
- 1900 Eşit sayıdaki buharlı, elektrikli ve benzinli araçlar birbirleriyle yarıştı.
- 1900–12 EA'ların altın dönemi yaşandı.
- 1921–60 Benzin motorlu araçlar tamamen yaygınlaşmaya EA'lar ise yok olmaya başladı.
- 1960–90 EA'lar çok az sayıda da olsa tekrar görünmeye başladı.
- 1990 Yeni batarya teknolojileri ile artan sayıda elektrikli araç görülmeye başladı.

1990 yılından sonra birçok araç üreticisi elektrikli araç geliştirmeye başlamıştır. Bunlardan bazıları zamanla yerini halen devam eden farklı modellere bırakmıştır. EA'lara örnek olarak GM EV1, Ford Think City, Toyota RAV4, Nissan Hypermini - leaf ve Peugeot 106 Electric gösterilebilir. Bunlarla birlikte ilk örnek ve deneysel amaçlı üretilmiş birçok elektrikli araç daha bulunmaktadır. Bu araçların çoğunda AA indüksiyon motor veya sürekli mıknatıslı (SM) senkron motor kullanmışlardır. 1990'larda büyük araç üreticileri EA'ların gelişmesi için batarya teknolojisinin de gelişmesi gerektiğini belirtmekte, bu amaçla da TEA'ların batarya ve menzil kısıtlarını gidermek için hibrit elektrikli araç geliştirme çalışmaları başlatılmıştır. Özellikle Japon endüstrisi Toyota Prius, Honda Insight ve Nissan Tino modellerini geliştirmiştir.

2.2. Tümü-Elektrikli Araçlar

İYM'ların son yıllarda sera etkisine ve hava kirliliğine büyük ölçüde neden olmasından dolayı araştırmalar TEA yönüne doğru kaymaktadır. Geleneksel

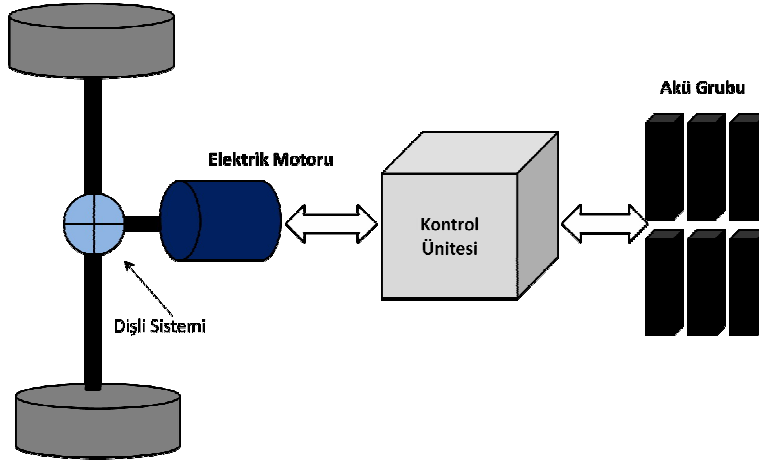
araçlardan farklı olarak TEA'ların tahrik sisteminin temelinde elektrik motoru bulunmaktadır. Bu durum ise enerji kaynağı olarak sadece elektrik enerjisi kullanılabilirdiği anlamına gelmektedir. Bu tip bir yapının içerisindeki elemanların birbirleriyle olan ilişkileri, enerji yönlendirmesi için kullanılan sistemler gibi etkenlerin birleştirilmesiyle değişik kombinasyonlar oluşturulabilmektedir. Her ne kadar güç yönetimi mükemmel olsa da elektromekanik ve kimyasal enerji depolama sistemlerinin teknolojik olarak yeterli seviyede olmaması TEA'ların cazibesini günümüz için düşürmektedir. Şu an için yüksek teknolojiye içten yanmalı motora sahip olan araç ortalama 1000 kilometre gidebilirken TEA'lar ortalama 180 km gidebilmektedir. Bu da EA teknolojisinin yayılmasını engelleyici faktörlerin başında gelmektedir [3, 13, 15].

TEA, depolanan ya da üretilen tüm elektrik enerjisini itici güç sistemlerini çalıştırmak için kaynak olarak kullanmaktadır. Bu tip araçlarda ana güç kaynağına ek olarak yardımcı güç kaynakları da bulunmaktadır. Daha önce de bahsedildiği gibi elektrik motorunun dönmesi için gerekli olan elektriksel enerji bataryalardan elde edilmektedir. Bunun yanında TEA'lar da ana bataryaya ilave yardımcı güç kaynağı olarak ikincil bir batarya veya süperkapasitör kullanılabilmektedir. Bu yardımcı güç kaynakları maksimum performansın gerektiği çalışma şartları altında; örneğin bir yokuşu tırmanırken veya ivmelenirken kısa zaman diliminde yüksek güç sağlayabilmektedir. Yüksek enerji yoğunluğu uzun sürüş menzili, yüksek güç yoğunluğu ise ivmelenme ya da yokuş tırmanma ihtiyacını karşılayan tasarım parametreleridir. Bu durumun etkisi; öncelikle yüksek enerji, düşük güç yoğunluğuna sahip batarya tipleri için önemlidir. Örneğin alüminyum (Al-hava piller) bataryalar 220 Wh/kg gibi yüksek enerji yoğunluğunun yanında, 30 W/kg gibi düşük güç yoğunluğundadırlar. İyi bir ivmelenme veya tırmanma performansı için yüksek güç yoğunluğuna ihtiyaç duyulması durumunda yüksek güç yoğunluğuna sahip yardımcı güç kaynağına gereksinim duyulmaktadır [3, 7, 13].



Resim 2.3 Ford Think City tümü elektrikli araç

Resim 2.3’de Ford markasının ürettiği tümü elektrikli araçlara bir örnek verilmiştir. Genel olarak EA’ların tahrik sisteminin beslemesi batarya grupları ve beslemesini bu gruplardan sağlayan bir güç elektroniği dönüştürücüsünden oluşmaktadır. TEA’lar depolama ünitesi olarak kullanılan batarya grubu, elektrik motoru ve kontrol sisteminden meydana gelmektedir. Tahrik sistemi tek tekerden veya birden fazla tekerden yapılabilmektedir. Bu seçenek aracın kontrolünü zorlaştırırken aynı zamanda dinamik özelliklerini de iyileştirir [16]. Batarya grubu elektrik enerjisi ile güç elektroniği dönüştürücülerini kullanarak tekrar şarj olma özelliğindedir (Plug-in) ve bunun için kullanılan şarj ünitesi şarj istasyonlarından maksimum düzeyde faydalanabilecek şekilde aracın üzerinde bulunmaktadır. Tümü elektrikli aracın temel blok diyagramı Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Kontrol ünitesi araçta bulunan elektrik motorunun güç yönetimini yapmakta ve buna paralel olarak aracın ileri-geri hareketini ve hızını yönetmektedir. Sistemin giriş ve çıkış gerilimlerindeki değişimleri en aza indirmek ve ani tepkiler verebilmek için kontrol sistemi kapalı döngü olarak çalışmaktadır. Bu sistem aslında sürtünmeyi azaltarak frenleme yapmak için daha geçerli bir uygulamadır. Sonuç olarak her frenleme anında araç motorunun generatör olarak sisteme gönderdiği enerji tüketilenden daha azdır [5, 6, 7, 13].



Şekil 2.1 Tümü elektrikli araç blok diyagramı

Tümü elektrikli araçların getireceği yenilikler aşağıda özetlenmiştir [7, 27, 28];

- TEA'lar en gelişmiş güç elektroniği teknolojisini kullanarak daha verimli batarya şarj sistemi, şarj ünitesi ve gelişmiş kontrol ünitesi içermektedir.
- TEA'lar yanma ile yakıt, elektrik enerjisi dönüşümü söz konusu olmadığından atık gaz ve sera etkisi oluşturacak faktörler yoktur.
- TEA'lar enerjisini batarya grupları, volanlar veya süperkapasitörlerden sağlamaktadırlar.
- TEA'lar modern taşımacılık ağları ile uyumlu olarak çalışabilecek akıllı sistemleri oluşturmayı sağlayacaktır
- İşletme koşulları ve çalışma döngüleri yeniden tanımlanacaktır.
- Son kullanıcı, her bakım-üretim seviyesi ve alakalı sektörlerde altyapı, eğitim ve standardizasyon ihtiyacı ortaya çıkacaktır.
- Sahip oldukları şarj sistemi diğer enerji kaynaklarının depolama yapılarına göre daha düşük maliyetlidir.
- Benzin veya doğal gaz kullanılan araçlara göre uzun vadeli maliyet analizi yapıldığında daha ekonomiktir.
- Alternatif enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretilbildiğinden bir enerji kaynağına bağımlılık ortadan kaldırılmış olur.
- TEA'lar gürültü bakımından İYM'lu araçlara göre mükemmel yakın derecede sessiz yapıdadır.

2.2.1. Tümü-elektrikli araçların avantajları

Tümü-elektrikli araçlarda tekerlek elektrik motoru tarafından tahrik edilmektedir. Elektrikli araçta yüksek miktarda itme kuvvetinin sağlanabilmesi için gerektiğinde birden fazla elektrik motoru kullanılabilir. Elektrik motoruna sağlanan güç ise enerji depolama sistemlerinden elde edilen elektrik enerjisinden sağlanmaktadır. Bu enerji, bir depolama sistemi olan bataryalardan elde edildiğinden TEA’larda benzin, dizel ya da yanabilen diğer yakıtlar kullanılmamaktadır. Bu nedenle TEA’larda fosil yakıt tüketilmediğinden zararlı gazlar açığa çıkmaz ve TEA’lar “sıfır emisyonlu araçlar” olarak adlandırılırlar.

TEA’larda İYM olmaması ve sadece elektrik motorunun olmasından dolayı bu araçlar sessiz çalışmaktadır. Faydalı frenleme sayesinde fren sisteminin ömrü daha uzundur. Sistemde kayıp olarak nitelendirilen enerji elektrik motorunun generatör gibi kullanılmasıyla geri kazanılarak kinetik enerji elektrik enerjisine dönüştürülmekte ve bataryalara aktarılmaktadır. Yakıt maliyeti de dahil olmak üzere bakım maliyeti konvansiyonel araçlara göre çok daha düşüktür. Hareketli elemanlar fazla olmadığı için bunların bakımlarının çok sık yapılmasına ya da yağ değişimine gerek yoktur [7].

2.2.2. Tümü-elektrikli araçların dezavantajları

Tümü-EA üretimindeki yüksek maliyet elektrikli araç pazarının gelişmesini sınırlamaktadır. Bu araçların pazarda geniş bir şekilde yayılmasını engelleyen en önemli etken satın alma maliyetinin çok yüksek olmasıdır. Örneğin General Motors’un EV1 modeli 33995 \$ iken benzinli Chevrolet Cavalier 13670 \$’e satılmaktaydı. Fakat TEA’ların yakıt maliyeti konvansiyonel araçlara göre çok daha düşüktür. Örnek olarak küçük bir konvansiyonel aracın yakıt maliyeti yıllık ortalama 690 \$ iken TEA’ların çok daha düşük olup 390 \$-480 \$ arasındadır. TEA’ların yakıt maliyet düşük olduğundan petrol fiyatlarının artmasıyla bu araçların ön plana çıkması beklenmektedir. Ancak tümü-EA maliyetinin önemli bir kısmını oluşturan

bataryalar gibi henüz geliştirilme aşamasında olan kritik parçaların mevcut durum da 3-5 yıl içerisinde yenilenmesi kullanım maliyetinin arttırmaktadır.

EA'ların yaygınlaşıp pazar potansiyelinin artması için elektrikli araç satış maliyetinin azaltılması gerekmektedir. ABD Enerji Bakanlığı (U.S Energy Department) Mayıs, 1995 ve ABD Genel Muhasebe Bürosu (U.S General Accounting Office) ise Aralık, 1994'den itibaren TEA'ların hem satış hem de yaşam-döngüsü maliyetlerinin azaltılması üzerinde çalışmaya başlamışlardır. Otomobil üreticileri yeni tasarımlar yaparak araç maliyetini azaltmaya çalışmaktadırlar. Bununla birlikte elektrikli araç teknolojisi ile batarya teknolojisi gelişmekte ve bu nedenle taleplerin artmaya başlayacağı düşünülmektedir. Maliyeti azaltmanın bir diğer yolu ise hükümet ve endüstri destekli teşviklerin artırılması yönündedir. Böylelikle araç maliyetinin yanında kullanım maliyeti de azalacaktır. Elektrikli araç teknolojisi geliştikçe talebin artacağı ve maliyetin düşeceği açıktır. Bu durum TEA'ların tüketiciler tarafından kabulünü hızlandıracaktır.

TEA'ların yayılmasını engelleyen bir diğer etken de araç performansdır. Taşıtlara tahrik sağlayan bataryalar oldukça ağırdır ve taşıtın menzili sınırlıdır. Konvansiyonel yolcu aracı depoyu yakıtla doldurduktan sonra yaklaşık 500-600 kilometre yol alırken TEA'lar şarj edildikten sonra çok daha az (120-200km) yol alabilmektedirler. Tüm dünyada ileri lityum ion polimer bataryaların geliştirilmesi konusunda yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardaki temel amaç bataryaların enerji yoğunluğunu arttırarak TEA'ların menzilini arttırmaktır.

Elektrikli aracın gelişimine bir diğer engel olarak konvansiyonel bir aracın deposunun doldurulmasının birkaç dakika almasına karşın, bir TEA'ı tamamen şarj etmenin yaklaşık 5-8 saatlik zaman gerektirmesidir. Bazı yüksek hızlı şarj cihazları, aracı 1 saatte şarj edebilmektedir. Fakat bu şarj cihazları bataryaların ömrünü kısaltmaktadır [7]. Bu sebeple bazı üreticiler hızlı akü değişim istasyonları üzerinde çalışmaktadırlar.

2.3. Hibrit Elektrikli Araç

HEA geleneksel araçlarla batarya grubu ve elektrik motorunun eklenmesinden oluşmuş kombine bir yapıdır. HEA, geleneksel bir İYM ve elektrik motorunun birlikte çalıştığı ve tahrik amaçlı kullanıldığı araçlardır. Aracın enerji depolama ünitesinde çeşitli yöntemler ile depolanan elektrik enerjisi sayesinde elektrik motoru kullanılarak hem toplam verim yükselmekte hem de çevreye verilen zarar en aza indirilmektedir. Bu açıdan geleneksel içten yanmalı motorlu araçlara göre daha üstün bir yapıya sahiptir.

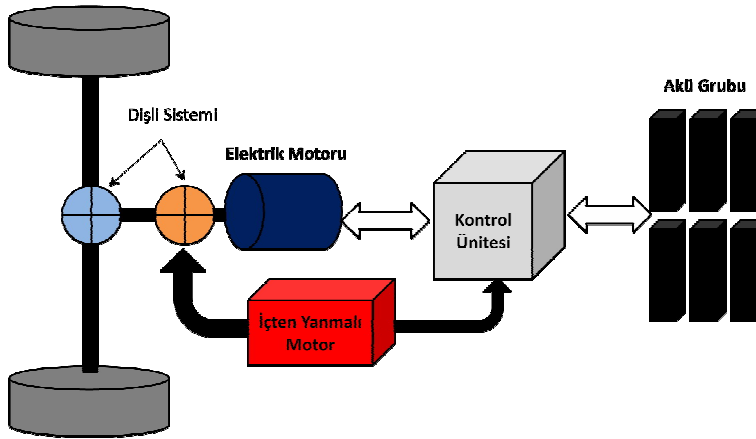
Araçlarda karbondioksit salınımı ve enerji verimliliği büyük ölçüde birbirleri ile çelişen özelliklerdir. Dolayısı ile bu iki unsurun birbirleri ile ilişkilerini değerlendirilerek söz etmek gerekmektedir.

Resim 2.4’de Toyota Prius hibrit elektrikli aracı örnek olarak verilmiştir. HEA’larda iki veya daha fazla güç kaynağı bulunmaktadır. Bu kaynaklar geniş bir aralıkta seçilebilmektedir. Ancak en yaygın biçimde kullanılan sistem içten yanmalı motor, batarya sistemi ve elektrik motor-generatör birleşimidir. HEA’lar geleneksel tip araçlara göre enerjiyi 2-3 kat daha fazla verimli kullanma yeteneğine sahiptir. Yapısal olarak seri ve paralel hibrit araçlar olmak üzere iki başlık altında incelenebilir. Her iki tür araçta da içten yanmalı motor ile generatör hareketli durumdayken şarj edilebilmekte ve aracın ileri geri hareketli durumlarında frenleme enerjisi geri kazanımına izin verilmektedir. Bu sayede araçlarda büyük boyutlu batarya grupları kullanılması zorunlu olmamaktadır.



Resim 2.4 Toyota Prius hibrit elektrikli araç

SHEA'ler genelde özel uygulamalar için tercih edilmektedir. Dizel temelli tren sistemlerinde ve gemi sistemlerinde her zaman kullanılmaktadır. Her bir tekerinde ayrı kontrol edilen elektrik motorları içeren özel arazi araçlarının çoğunluğu seri hibrit araçtır. SHEA'ların dezavantajı ise motor generatör değişim durumlarındaki enerji akışına çift yönlü izin vermemesidir. Eğer araca bu sistem dahil edilmek istenirse maliyet büyük ölçüde artmaktadır. Şekil 2.2'de hibrit elektrikli araç blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.2 Hibrit elektrikli araç blok diyagramı

HEA'nın enerji sistemi on-board enerji kaynağı enerji dönüştürme ünitesi ve enerji depolama ünitelerinin birleşmesinden oluşur. Enerji dönüştürme ünitesinin beslemesi

doğalgaz, methanol, doğal gaz, hidrojen ve diğer alternatif enerji kaynakları olabilmektedir.

Paralel hibrit araç uygulamaları ise birkaç farklı şekilde uygulanmaktadır. En basit olarak şehir içinde ve dışında çalışma şeklini seçebilen PHEA'dır. Şehir içinde seyahat durumundayken zararlı gazların fazla olmasından dolayı araç elektrik motorlu tahrik sistemini kullanır. Fakat şehir dışında zararlı gaz seviyesinin daha az olduğu kesimlerde İYM ile elektrik motorlu tahrik sistemini beraber kullanabilir. Daha kullanışlı ve alternatif bir kullanım şekli olan PHEA çeşidi de İYM batarya birleşiminin farklı bir çeşididir. Devamlı etki durumunda olan İYM ilk kalkış anında gerekli olan %50 fazla enerji ihtiyacını sağlar ve batarya beslemesine ihtiyaç olunmayan durumlarda motora bağlı generatörün ürettiği enerji ile batarya şarj olur. Modern kontrol teknikleri ile motor hızını ve momentini düşük egzoz gazı atıkları ve en alt düzeyde ekonomik şekilde kontrol edilir. PHEA sistemlerinin de hibritlik oranını belirlemek için gerekli olan bağıntı [5, 12, 13, 16, 18];

$$HD = \frac{\text{ELEKTRİKLİ MOTOR GÜCÜ}}{\text{ELEKTRİKLİ MOTOR GÜCÜ} \times \text{İYM GÜCÜ}} \quad (2.1)$$

olarak verilebilir.

2.3.1. Hibrit elektrikli araçların avantajları

TEA'ların bazı dezavantajlarını gidermek amacıyla hibrit elektrikli araçlar geliştirilmiştir. TEA'lara İYM eklenerek aracın menzili ve gücünün arttırılması için HEA'lar geliştirilmiştir. HEA'lar, konvansiyonel araca nazaran kirletici etkileri azaltmakta ve yakıt verimini arttırmaktadır. HEA'lar birden fazla güç kaynağı olan araçlar olarak da adlandırılır. HEA'lar iki ya da daha fazla enerji dönüşüm teknolojilerini (İYM, yakıt pilleri, generatörler ya da elektrik motorları) bir veya daha fazla enerji depolama teknolojileri (batarya, süperkapasitörler ya da volan) ile birleştirmektedir

HEA'ların geliştirilmesinin temel nedenlerinden birisi de TEA'ların şarj problemi ve sınırlı menzile sahip oluşlarıdır. Çoğu HEA'lar enerji kaynağı olarak İYM (2 ya da 4 zamanlı ya da dizel motorları), gaz türbini ya da elektrokimyasal batarya kullanmaktadır. Güç üreten elemanlar elektrik enerjisini depolayan elemanlarla değişik şekillerde birleştirilmektedir. Bu şekilde birçok değişik hibrit elektrikli araç tasarımları geliştirilmektedir. HEA'lar alternatif yakıtlarla da çalıştığı için fosil yakıtlara çok fazla bağımlı değildirler.

HEA verimi ve emisyonu özellikle alt sistemlerin kombinasyonuna ve bu alt sistemlerin tüm sisteme nasıl entegre olduğuna bağlıdır [7].

HEA'ların konvansiyonel araçlara göre bazı üstünlükleri vardır. Bunlar [7];

- Faydalı frenleme yeteneği enerji kaybını en aza indirir ve taşıt durduğunda ya da yavaşladığında kullanılan enerjiyi geri kazandırarak bataryaları besler.
- İYM'lar pik yükü değil ortalama yükü karşılayacak şekilde boyutlandırıldığından motorun ağırlığı azalmaktadır.
- Yakıt verimi büyük ölçüde artmaktadır.
- Emisyonlar önemli oranda azalmaktadır.

2.3.2. Hibrit elektrikli araçların dezavantajları

HEA'lar genel olarak seri ve paralel olmak üzere iki konfigürasyona ayrılırlar. Seri hibrit sistemde tekerlere tahrik gücünü sağlayan bir elektrik motoru vardır. İYM generatöre bağlıdır ve elektrik enerjisinin oluşturulmasını sağlayarak bataryalarda enerji depolanmasına katkıda bulunur. Bataryalarda depo edilen elektrik enerjisi ise elektrik motoruna verilir ve tahrik tekerlerine gerekli olan güç iletilir. İYM ve tekerlekler arasında mekanik bir güç iletimi mevcut değildir.

Paralel hibrit sistemde ise itme için gerekli olan güç, birden fazla enerji kaynağından sağlanır. İYM transmisyon aracılığı ile tekerlere doğrudan güç iletir. Bunun yanında bataryalarda depo edilen elektrik enerjisi ise elektrik motoru yolu ile tekerlere iletilir.

Seri hibrit sistemin dezavantajları [7];

- Bu sistemde İYM, generatör ve elektrik motoru olmak üzere üç tahrik donanımına ihtiyaç duyulur:
- Elektrik motoru gerekli olan azami gücü karşılayacak şekilde, özellikle yüksek eğimler için tasarlanır. Fakat araç çoğunlukla azami gücün altında çalışmaktadır.
- Tahrik donanımları, batarya kapasitesinin birinci seviyede dikkate alınarak menzil ve performans için azami gücü karşılayacak şekilde boyutlandırılır.
- Güç sistemi ağır ve maliyeti daha yüksektir.

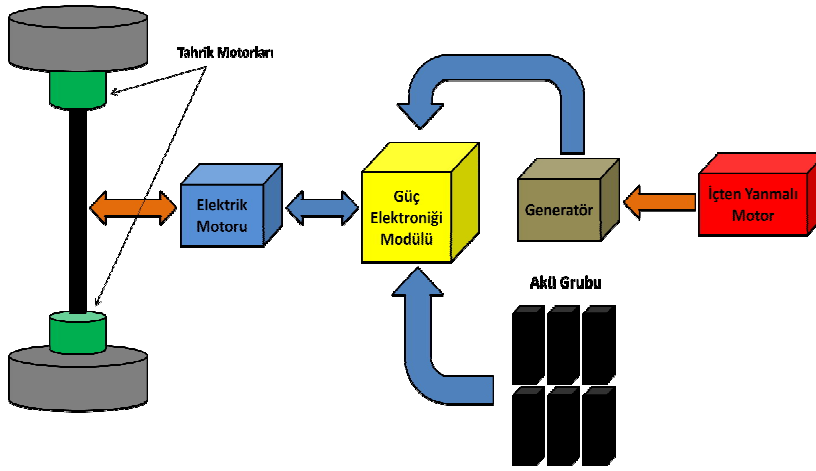
Paralel hibrit sistemin dezavantajları aşağıda verilmiştir[7]:

- Gerekli olan güç iki farklı kaynaktan sağlandığı için burada enerji yönetimi önem arz eder.
- İYM ve motordan gelen gücün tahrik tekerlerine düzgün olarak iletilebilmesi için karmaşık mekanik elemanlara ihtiyaç duyulur.
- Sessiz çalışma modu sağlamamaktadır.

2.3.3.Seri hibrit elektrikli araçlar

Temelde bilinen elektrikli araçların büyük çoğunluğu seri hibrit elektrikli araçlardır. Bu yapının blok diyagramı Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Araca hareket elektrik motoru ile verilir ve bu motor enerjisini enerji depolama elemanlarından, generatör sisteminden veya her ikisinden birlikte alabilir. Sistemde küçük bir İYM enerji üretmek amacıyla sürekli çalışmaktadır. Bağlantı biçimi olarak genelde İYM, generatör sistemine direk bağlıdır. Buradaki amaç sürekli güç üretimi sağlamak ve gerektiğinde kullanmak üzere depolama elemanlarının şarjlı durumda olmasını

sağlamaktır. Bir diğer güç üretiminin sürekliliğini sağlama yöntemi ise yük seviyesinin sürekli kontrol edilmesidir. Sistem kontrol edeceği yük durumuna göre kullanacağı gücü seçebilir. Ancak fren anlarında veya başka bir ifadeyle yükten kaynağa enerji akışı olduğunda elektrik motoru generatör olarak çalışır ve akü şarj sistemi için gerekli enerjiyi sağlamaktadır. Aracın enerji ihtiyacı sadece İYM'den sağlanmaz. Tercih edildiği durumlarda şebekeden de şarj olabilmektedir.



Şekil 2.3 Seri hibrit elektrikli araç blok diyagramı

SHEA'nın en büyük avantajı mekanik açıdan büyük olsa da mekanik bağlantı açısından basit bir yapıya sahip olmasıdır. Başka bir önemli özelliği ise aracın devri değişse bile İYM sürekli sabit hızda ve sabit moment ile veriminin en yüksek olduğu noktada çalışır ve yapı olarak tümü elektrikli araçlara büyük ölçüde benzemektedir. Şehir içerisinde kullanımında ise diğerleriyle kıyaslandığında seri hibrit elektrikli araç en yüksek verimle çalışan tiptir [27, 28].

2.3.4. Paralel hibrit elektrikli araç

PHEA'lar diğer elektrikli araçlara göre genelde tercih edilmese de yüksek çekiş gücü gerektiren uygulamalarda yüksek verim sağlamaktadır ve tercih edilmektedir. İYM ile elektrik motorunun birbirlerine mekanik olarak paralel olduğu bir sistem ortak moment üretir. SHEA'a göre daha az maliyetlidir. Fakat diğerleriyle kıyaslandığında daha karmaşık bir kontrol sistemine sahiptir. PHEA'da moment üreticiler araca ayrı

ayrı hareket verebilir veya aynı anda paralel olarak çalışabilirler. Sistemin yapısı Şekil 2.4’de verilmiştir.

Temel paralel hibrit elektrikli araçlar dişli sistemi ve aktarma organları bakımından 3 grupta incelenebilir [27, 28].

Pre-transmission paralel hibrit elektrikli araç

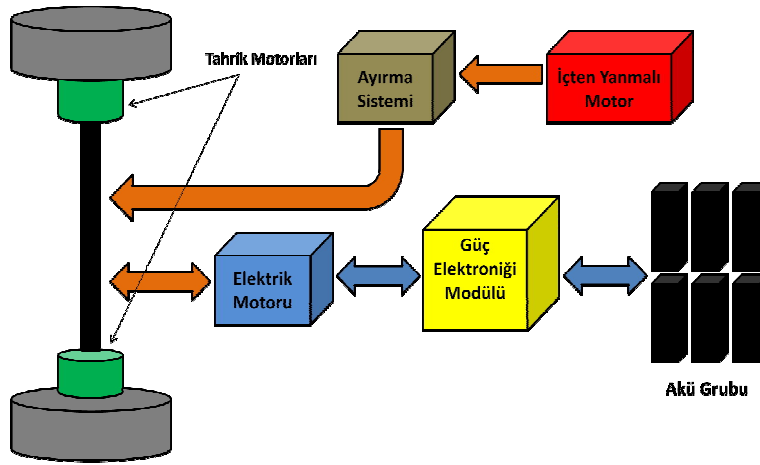
Yapısına bakıldığında İYM-aktarma organı-elektrik motor sitemi olarak bir akış şeması vardır. Dişli kutusunun yeri ana şaftın üzerinde, moment kolunun hemen arkasındadır. Sonuç olarak aynı dişli dönüştürme oranı hem İYM'ye hem de elektrik motoruna uygulanır. Güç akışı dişli sisteminin kontrolündedir. Bu sayede dişli sisteminin girişinde hem elektrik motorunun hem de İYM'nin momentleri vardır.

Post-transmission paralel hibrit elektrikli araç

Yapısına bakıldığında İYM-elektrik motoru-aktarma organı olarak bir akış şeması vardır. Dişli kutusu moment kolundan önce gelmektedir ve bunun sonucu olarak elektrik motorunun ve İYM'nin momentleri dişli kutusunun çıkışındadır. Doğal olarak dişli dönüştürme oranı sadece İYM' için geçerlidir.

"Through the road" paralel hibrit elektrikli araç

Diğerlerine nazaran daha basit bir mekanik yapıya sahiptir ve karmaşık kontrol sistemleri ve mekanik yapılar ortadan kalkmıştır. Elektrik motoru ile İYM birbirinden bağımsız çalışmaktadır.

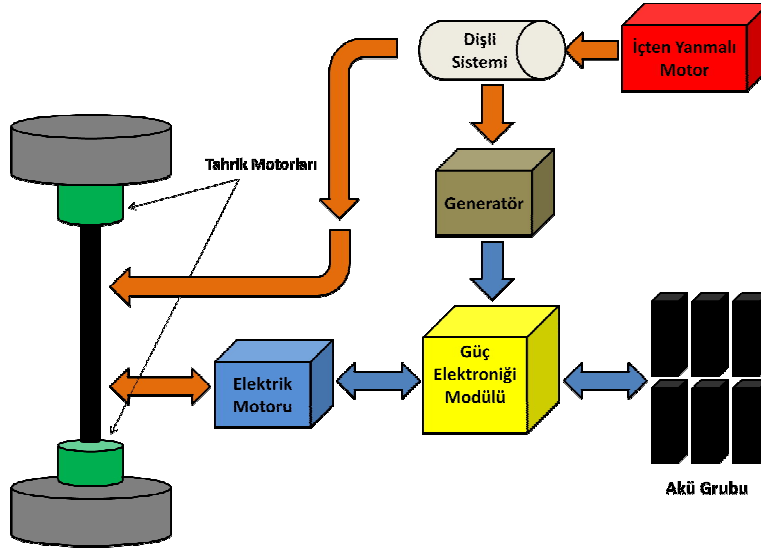


Şekil 2.4 Paralel hibrit elektrikli araç blok diyagramı

2.3.5. Seri - paralel hibrit elektrikli araç

Seri-paralel hibrit elektrikli araçta İYM ile elektrik motoru gezegensel dişliyle birbirinden ayrılmıştır. Bu sistemdeki ana prensip sürüş koşullarına göre elektrik motoruyla içten yanmalı motoru birbirinden ayırmaktır. İYM'de üretilen fazla enerji veya yükten kaynağa doğru akan enerji güç dönüştürücüler yardımıyla depolama elemanlarını şarj etmek için kullanılır. Sistemin prensip şeması Şekil 2.5’de gösterilmiştir. İki sistemin birleşmesi olarak kabul edilebilir. Bu yüzden hem paralel hibrit elektrikli aracın hem de seri hibrit elektrikli aracın özelliklerini içerir. Daha açık olarak sistemde hem elektrik hem de mekanik olarak birbirine bağlı motor/generatör grubu vardır. SPHEA’ın blok diyagramı Şekil 2.5’de sistemin blok diyagramı verilmiştir.

SPHEA'ların ana avantajı İYM aracın hızından bağımsız olarak çalışmaktadır. Her ne kadar avantaj olarak nitelendirilse de seri hibrit elektrikli araçta ve paralel hibrit elektrikli araçta da aynı avantaj bulunmaktadır. Bu sistemin dezavantajı kontrol yöntemi, fiyat ve mekanik yapı olarak karmaşık yapıya sahip olmasıdır.



Şekil 2.5 Seri- Paralel hibrit elektrikli araç blok diyagramı

SPHEA'lar elektrik sisteminin yoğunluğu veya mekanik sistemin yoğunluğu bakımından sınıflandırılabilir. Elektrik sistemin daha yoğun olduğu sistemlerde elektrik motoru daha aktif rol oynamakta, mekanik sistemin daha yoğun olduğu sistemlerde ise İYM daha aktiftir [5, 6, 27, 28].

2.4. Yakıt Pili Elektrikli Araçlar

Yakıt pilleri yakıtın kimyasal enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Konvansiyonel teknolojilere göre daha yüksek verim ve önemli miktarda düşük derecede zararlı etki üretirler. Ayrıca daha sessiz çalışırlar ve modüler bir yapıdadırlar. Son yıllarda çeşitli ilk örnek uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır. Daha uzun dönemlerde yakıt pillerinin özellikle araç uygulamalarında daha da yaygın olarak kullanılabileceği öngörülmektedir.

Bir yakıt pili bileşenleri ve karakteristikleri bataryaya benzese de bazı açılardan bataryadan farklıdır. Yakıt pili enerji dönüşüm cihazıdır ve bu enerji dönüştürme işlemi elektrotlara yakıt ve oksitleyici sağlandığı sürece devam edebilmektedir [7]. Bataryalar enerjiyi hemen sağlar iken yakıt pilleri başlangıçta süreye ihtiyaç duyarlar.

2.4.1. Yakıt pilli elektrikli araçların avantajları

EA'larda enerji kaynağı olarak sadece bataryaların kullanılması durumunda araç menzili depolanmış enerji miktarı ile sınırlıdır. Yakıt pillerinin kullanımı, EA'ları menzil açısından konvansiyonel araçlar ile rekabet edebilir duruma getirecektir.

Yakıt pilli araçların menzili konvansiyonel araçlarda olduğu gibi, yakıt tankında depolanan yakıt miktarına bağlıdır. Güç/enerji üretim modülü olarak yakıt pilinin büyüklüğü araçta ihtiyaç duyulan güç kapasitesine bağlıdır ve aracın menzili ile ilişkili değildir.

Yakıtın elektrik enerjisine direkt olarak dönüştürüldüğü yakıt pillerinde, teorik verim carnot çevrimi verimi ile sınırlı değildir. Yakıt işlemedeki ısı kayıplar göz önüne alındığında, yakıt pillerinin verimlerinin % 60-70 seviyesine ulaşmaktadır. Enerji üretiminde döner parçasının bulunmaması ile tamamen sessiz bir çalışma sağlamaktadır.

EA'larda yakıt pillerinin kullanılmasının sağlayacağı temel avantajlar aşağıda listelenmiştir:

- Normal ve kısmi yüklerde yüksek çalışma verimi,
- Direkt enerji dönüşümü,
- Düşük zararlı gaz değerleri (CO , SO_2 , NO_x),
- Düşük bakım maliyetleri,
- Düşük gürültü seviyesidir.

Yakıt pili teknolojisi sayesinde düşük zararlı gaz seviyesi araçların üretimi, çevre kirliliğine önemli bir çözüm sağlayacaktır. Dünyada olgunlaşmakta olan yakıt pili teknolojisi üzerine yapılan araştırmalar, hem askeri hem de sivil alanda yoğunluk kazanmıştır [7].

2.4.2. Yakıt pilli araçların dezavantajları

Özellikle sıfır emisyon ve yüksek verim gibi önemli avantajların yanında seri üretime geçme öncesinde bir takım teknik ve ekonomik sorunların aşılması gerekmektedir. Otomotiv ve enerji sektöründeki yatırımlar ile gelişimini sürdüren yakıt pilli teknolojisinde, maliyet için etkin çözümler henüz üretilmemiş durumdadır. Genel olarak, üretim, işletme ve altyapı maliyetlerinin düşürülmesi (özellikle katalizörler), elektriksel kararlılık, yakıt sistemleri, güvenilirlik, bakım, hidrojen depolama sistemi ve güvenlik teknolojileri geliştirilmeye açık alanlar olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca yakıt çevriminin sonucunda dışarıya atılan atığın su buharı veya su olması sebebiyle, bu yakıt gelecekte araçlar için geçerli bir enerji kaynağı olacaktır. Ancak temel problem, yakıt olarak kullanılan maddenin araç içinde depolanmasının güvenilir, az yer kaplayan ve ağırlığı az bir şekilde yapılmasının zorunluluğudur [7].

2.5. Faydalı frenleme

EA'larda batarya teknolojisine bağlı olarak enerji depolama seviyesinin sınırlı olmasından dolayı, aracın verimini arttırmak ve enerjinin geri dönüşümünü sağlamak amaçlı sistemler geliştirilmektedir [32]. Bahsi geçen enerji sadece elektrik enerjisi değil bunun yanında kinetik enerji ve ısı enerjisi de olabilir. Frenleme enerjisi geri kazanımı sistemleri aracın fren yaptığı durumlarda veya enerji kaybı ısı olan parçaların enerji kaybını en aza indirebilmek amaçlı tasarlanmış sistemlerdir. Bu açıdan bakıldığında her türlü koşul için en iyi verimi elde etmek yolunda bataryalar, araçlarda kullanılmak için üst seviyede bir çözümdür [32, 33, 34, 35, 36].

Frenleme enerjisi geri kazanımı sistemlerinde temelde aracı yavaşlatmak amacıyla bir motor generatör olarak çalıştırılır. Sürücü frene bastığı anda bu motor generatör olarak yüklenir ve araç hızlı bir şekilde yavaşlar. Aynı sistem bu aracın geri hareketinde de benzer mantıkla kullanılabilir. Bu depolama işlemi sadece aracın hareket etmesi için gerekli olan enerji değildir. Araç içi aydınlatma veya kullanıcı arayüzlerinin beslemesi de buradan sağlanabilir.

Enerji kaybının önemli olduğu bu tip sistemlerde şehir içinde kullanılan bir araç söz konusu ise dur-kalk durumlarının önemi iyice artmaktadır. Çünkü şehir içinde araç yavaş yavaş hızlanmakta ve yavaşlamaktadır ve bu olay frenleme enerjisi geri kazanımı sisteminin temel işlevi olan aracın yavaş durumdayken frenlemesindeki kayıp enerjiyi geri kazanma işlevi için çok uygundur.

EA'larda frenleme enerjisi geri kazanımı sistemleri aracın merkezi denetimi ile doğrudan ilgilidir. Çünkü motorun çalışma ve durma dönemlerini bu sistem belirler. Çalışma prensibi olarak sistem ilk önce aracın tekerlek hızını ve aktarma organlarından önce olan devri algılar. Daha sonra mekanik sistemin momentini hesaplar. Bu verilere bağlı olarak üretilen enerjiyi depolama elemanlarına gönderir [32-38].

3. DEPOLAMA ELEMANLARI

Enerji depolama sistemleri enerji şebekelerini düzenlemek; şebeke güvenilirliğini artırarak şebekeden alınan elektrik enerjisinin kalitesini iyileştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak temiz enerjiye yönelim nedeniyle günümüzde, elektrikli ya da hibrit elektrikli araçlar ile yenilenebilir enerji kaynakları ve bu sistemlerde kullanılacak enerji depolama sistemlerinin geliştirilmesi ön plana çıkmıştır. Bu sayede rüzgar ve güneş gibi sürekli olarak yararlanma imkanı olmayan yenilenebilir kaynaklardan bu kaynakların mevcut olduğu zamanlarda üretilen enerjinin depolanarak, kaynakların kesintiye uğradığı zamanlarda kullanılmasına olanak sağlayacaktır. Böylece yenilenebilir enerjinin güvenilirliğini artırarak, kullanımını cazip hale getirecektir [10, 34, 53].

Bu kapsamda önümüzdeki yıllarda gelişmelerin;

- Özgül enerjisi 350 Wh/kg ve üzerinde olan Li-ion ve özgül enerjisi 120 Wh/kg ve üzerinde olan NiMH (nikel metal hidrür) pillerinin geliştirilmesi,
- Elektrik enerjisini elektronik yolla depolayan süper kapasitörlerin geliştirilmesi (sivil ve askeri uygulamalar),
- Enerji depolamada kullanılacak malzemelerin ve süper iletken enerji depolama sistemlerinin geliştirilmesi,
- Süper iletkenlerin enerji iletiminde kullanılması; süper iletkenlikli manyetik enerji depolama (SMED) sistemlerinin yakıt pili, yenilenebilir enerji ve elektrik enerjisi sistemlerinde uygulanması,

olacağı düşünülmektedir [34, 42].

Hibrit araçlarda enerji depolama birimi olarak Li-on, NiMH bataryaları ve süper kapasitörler kullanılmaktadır. Süperkapasitörler batarya sistemlerine göre daha uzun ömürlü olup kısa sürede yüksek enerji depolayabilir. Fakat fiyatları yüksektir. Hibrit araçlar için en uygun çözüm Li-ion bataryalar gözükmemektedir. Hibrit araçların

verimliliğini maksimum seviyeye çıkarmak ve darbeli akımlara karşı bataryanın ömrünü artırmak için Li-ion ve süperkapasitör sisteminden oluşan ortak bir yapı kullanılabilir.

Batarya hücrelerinin paralel ya da seri olarak bağlanıp bir enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi için batarya yönetim birimine gereksinim duyulmaktadır. Batarya yönetim sisteminin görevleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [53];

- Akım, gerilim, sıcaklık bilgilerine göre bataryanın güvenliğini sağlamak.
- Akım ve gerilim bilgisine göre SOC oranını hesaplamak.
- Bataryanın kapasitesini yüksek tutulması için hücre dengelemesini gerçekleştirmek.
- Hibrit araç elektronik kontrol birimiyle haberleşmek.
- Tehlike anında hata ve uyarı mesajları yayınlamaktır.

Son yıllardaki gereksinimler sonucu batarya yönetim biriminden aşağıdaki özellikler de istenmektedir.

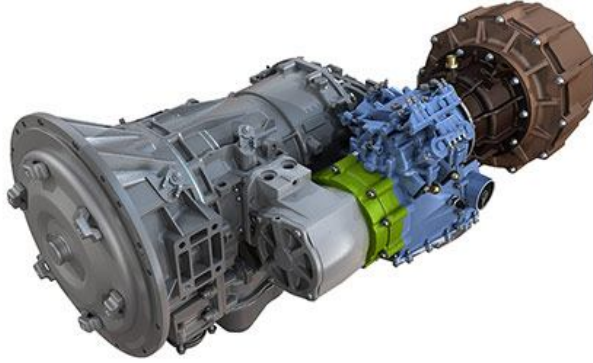
- Batarya SOH (state of health) ve SOF (state of function) bilgileri yönetim birimi tarafından hesaplanarak kullanıcıya bataryanın sağlık durumu hakkında bilgi vermelidir.
- Batarya bilgi kayıt sistemi kurulmalıdır.
- Bataryanın güvenliğini artırmak için watchdog birimi kurulmalıdır.
- Batarya sistemi devreye girmeden önce besleme geriliminin yeterliliğini, içerisinde bulunan kontaktörlerin, sensörlerin ve sigortanın sağlamlığını kontrol etmelidir.
- Oluşan problemler ayrıntılı olarak CAN veri yoluyla yayınlanmalıdır. Ayrıca, batarya yönetiminde kullanılan kontrol metotlarının kesinleştirilmek ve batarya özelliklerini belirlemek için standartlar oluşturulmalıdır.

- Hücreler arasında dengeleme işlemini DA-DA çeviriciyle “aktif” mi, yoksa direnç üzerinde enerji kaybı yaratarak “pasif” olarak mı yapılması gerektiği belirlenmelidir.
- Merkezi batarya kontrol birimiyle yan batarya kontrol birimleri arasındaki haberleşme protokolü belirlenmelidir.
- Bataryaların çarpma, kısa devre ve yangın gibi test planlarının çıkarılması gerekmektedir.

Yukarıda sayılan durumlara ek olarak batarya içerisinde arızalanan bir hücrenin ancak benzer yaşlılığa sahip bir hücreyle değiştirilmesi gerekliliği problemi aşılmalıdır. Batarya teknolojisinin araçlara güvenilir olarak yerleştirilebilmesi için yukarıda belirtilen çalışmaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir [42, 43, 53].

3.1. Volan Sistemi

Volanlar sabit bir enerji depolama elemanıdır. Diğer bir ifadeyle elektromekanik bir depolama elemanıdır. Mekanik enerjiyi emerek kendi üzerinde depolar. Bazı sistemlerde volanlar kısa süreli enerji kayıplarını engellemek için de kullanılır. Volanların kullanımının ortaya çıkmasının en büyük sebebi sürüş momenti ve yük momentinin temelde dalgalı olmasıdır. Sonuç olarak volanlar frenleme enerjisi geri kazanımı sisteminin gelişmesi için açışal hızın artırılması ve kendi dönüş hızı azalsa bile ilettiği enerjideki kararlılık bakımından etkili bir yöntemdir. Resim 3.1’de volan depolama sistemine bir örnek gösterilmiştir [7, 33].



Resim 3.1 Volan sistemi

Volanları frenleme enerjisi geri kazanımı uygulamasında kullanmak için gerekli nedenleri sıralandığında [7, 33, 34];

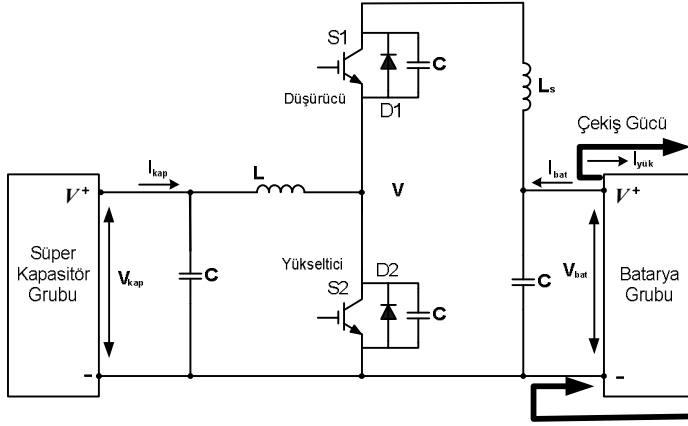
- Sadece mekanik yapısı olan bir sistemdir ve harici bir güç girişine ihtiyacı yoktur.
- Esnek tasarlanabilirlik ve yüksek iş görme özelliklerine sahiptir.
- Çalışmasında kimyasal dönüşüm bulunmaz. Bu yüzden hem güvenilirlik ve çevreye verdiği zarar bakımından verimlidir.
- Anma devir sayısındaki verim %90 civarındadır.
- Hızlı şarj özelliğinin olmasına rağmen, bu özelliğinden dolayı ömründe azalma olmaz.
- 10 yıla kadar bakım yapmaksızın çalışabilirler.

3.2. Süperkapasitör Sistemi

Yenilenen teknolojiyle beraber depolama konusunda gelinmiş en son noktalardan biri olarak süperkapasitörler gösterilebilir. Sistemin bağlantı şeması Şekil 3.1’de verilmiştir. Süperkapasitörlü sistemler güç yönetim sistemiyle beraber 4 ana kısımdan oluşur. Bunlar;

- Geyti yalıtımlı bipolar anahtarlar
- Alüminyum bobin

- Süperkapasitör paketi
- Batarya grubu



Şekil 3.1 Süperkapasitör içeren sistemin topolojisi

Bu sistemin güç dönüştürücüsü batarya sistemine paralel bağlanmıştır. Paralel bağlanmış bir grup süperkapasitör hücresi Resim 3.2’de gösterilmiştir. Aracın hızlanma anında süperkapasitör tam şarjlı olan gerilimi nominal gerilim seviyesine kadar deşarj olur.



Resim 3.2 Bir süperkapasitör örneği

Yavaşlama anında ise kaynağın generatör olarak çalışma durumu olduğundan tekrar şarjlı durumuna döner. Kullanılan çift yönlü güç dönüştürücü aracın hızlanması durumunda yükseltici, aracın yavaşlaması durumunda ise düşürücü güç

dönüştürücüsü olarak görev yapar. Resim 3.3’de Honda marka elektrikli araçlarda kullanılan süperkapasitör bloğu gösterilmiştir [33, 34, 35].



Resim 3.3 Honda markalı elektrikli araçların kullandığı süperkapasitörler

Süperkapasitörlerin şarj sistemi üzerine etkileri aşağıdaki gibi sıralanabilir [33];

- Elektrolitik kondansatöre göre 20 kat daha fazla şarj deşarj olabilir.
- 1000’den daha fazla şarj-deşarj durumunda olsa da performansında düşme olmaz.
- Elektrikli araçların performanslarını ve dinamik yapısını güçlendirir.
- Paralel olarak çalıştığı batarya sisteminin ömrünü uzatır.
- Frenleme anında kaynağa geri dönen enerji veya ani ivmelenme için gerekli olan yüksek güç talebi nedeniyle batarya grubunun hızlı şarj ve deşarj olmasını engeller.
- Araçta harici ek enerji kaynağı olarak görev görür.

4. GÜÇ YÖNETİM SİSTEMİ

Kaynakların kısıtlı olması nedeniyle enerji alanındaki anlaşmazlıkların artması ve yüksek seviyede enerji ihtiyacı gibi etkenlerden dolayı enerji tasarrufu son derece önemli bir hal almıştır. Enerji verimliliği açısından günümüzde, elektrikli araçların geliştirilmesi ve dağıtılmış güç sistemlerinin yaygın olarak kullanılmasına daha çok ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle elektrikle çalışan sistemlerdeki enerji akışı, kayıp enerji faktörlerinin yönetimi asıl mesele durumuna gelmiştir. Bu ihtiyacı doğuran diğer bir alanda havacılık ve uzay sanayindeki elektrik enerji ihtiyacının üst seviyede olması ve buna paralel olarak kayıp enerjiye tahammülünün olmamasıdır. Elektrik motorunun generatör olarak çalıştığı durumlarda enerjiyi tekrar kaynağa verebilmek ve elektrikli tahrik sistemi bulunduran araçlarda gerilim seviyeleri farklı modüllere çift yönlü enerji akışının sağlanması açısından çift yönlü dönüştürücüler kullanılmaktadır. Temel olarak gerilim kaynaklı dönüştürücüler ve akım kaynaklı dönüştürücüler çift yönlü enerji akışını sağlamak için kullanılmaktadır. Çift yönlü dönüştürücü topolojilerinin yüksek frekansta çalışabilme, yüksek güç yoğunluğuna sahip olma, tepki süresinin kısalığı, modüler olarak çoğaltılabilme, yüksek verim ve etki özellikleri iyileştikçe teknolojinin gelişmesine paralel olarak kullanımları artmaktadır [8-11].

Güç yönetim modülü için sistemin özelliğine, gerilim ve akım seviyelerine göre dönüştürücü tasarımı ve seçimi söz konusu olmaktadır. Bu durum sistemin karakteristik özelliklerine göre farklılık göstermektedir.

Sistemler için çift yönlü güç elektroniği dönüştürücülerinin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [3, 12, 13];

- Düşük olan batarya gerilimini istenilen seviyeye yükseltmek mümkündür.
- Yumuşak anahtarlama, faz kaydırma, gibi kontrol tekniklerinin kullanılmasıyla kayıplar en aza indirilebilir.

- Anahtarlama frekansları anahtarların çalışabildiği aralıkta tercihen yüksek değerde seçildiğinden yalıtımlı tip dönüştürücülerde transformatör boyutu küçülmektedir.
- Anahtarlama frekansları anahtarların mümkün kıldığı aralıkta tercihen yüksek seçildiğinden filtre boyutları küçüktür.
- Düşürücü veya yükseltici olarak kullanıldığında kontrol sistemi yalıtımlı olan primer veya sekonderden herhangi birine uygulanabilir. Ancak genellikle yüksek gerilim tarafından kontrollüdür.
- Eğer yapısında transformatör bulunduruyor ise elektriksel yalıtım sağlar.
- Depolama sisteminin dinamik özelliklerini geliştirir.
- Yüksek seviyede, regüleli DA gerilim üretimine imkân verir.
- Şarj vedeşarj işleminin aynı yapı üzerinden gerçekleştirilmesine imkan verir.
- Ağırlık, boyut, yüksek performans ve kullanılabilecek topolojiler bakımından diğer şarj sistemlerinden üstündür.

Sistemler için çift yönlü güç elektroniği dönüştürücülerinin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [3, 12, 13];

- Anahtarlama frekansı yüksek olduğundan dolayı anahtar seçimi ve anahtarlama kayıpları sorunu doğurur.
- Gerilimin düşük olduğu kısımda kaynaktan daha yüksek akım çekilir.
- Sirkülasyon akımlarından dolayı bazı topolojilerde yüksek DA bara gerilimine izin verilemez.
- Ani gerilim yükselmelerini engellemek için bastırma kondansatörlerinin değerleri büyük seçilmelidir. Bu durum ise anahtarların tepkilerini yavaşlatır.
- Gerilimin arttırıldığı yöndeki anahtarların üzerindeki gerilim yüksektir.
- Yapısında transformatör bulunan dönüştürücülerde kayıplar daha yüksektir.

ÇYD temel olarak bir batarya şarj sistemiyle bir DA-DA güç elektroniği dönüştürücüsünün birleşiminden meydana gelmektedir.

Birleşim bir sistem olduğundan kontrol yöntemleri olarak çeşitlik gösterilebilir. Literatürde;

- Yumuşak anahtarlama
- Rezonans kontrol
- Faz kaydırma
- Klasik anahtarlama

olarak dört farklı kontrol yöntemi tercih edilmektedir. Bu topolojiler güç, maliyet ve performans ihtiyaçlarına yönelik olarak ortaya çıkarılmıştır [17]. Daha ileri seviye uygulamalar için dönüştürücüler kendi aralarında topolojileri ve kontrol yöntemleri bakımından iki ana başlık altında toplanabilir [13, 14, 18, 19].

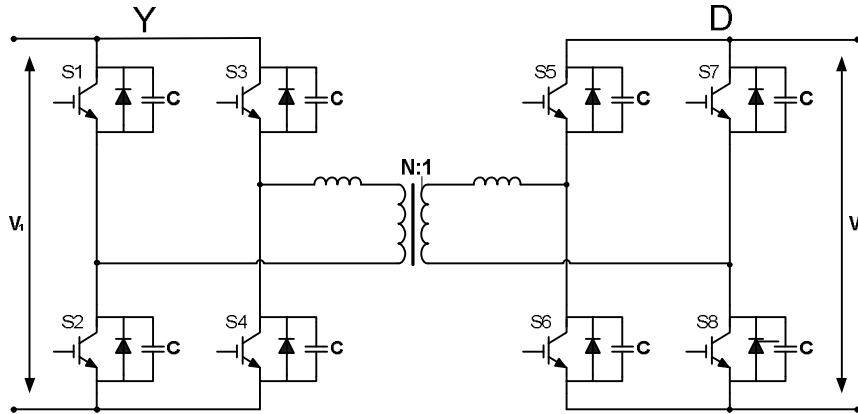
4.1. Yalıtımlı Tip Çift Yönlü DA-DA Dönüştürücüler

Uygulamalarda birçok DA-DA dönüştürücü türüne rastlamak mümkündür. Bu dönüştürücülerin hepsi farklı uygulamalar için farklı şekillerde en yüksek verim ve hassasiyeti elde edebilmek için tasarlanmıştır. Kendi aralarında bazıları gerilimi yükseltmek bazıları düşürmek ve her iki durumu da gerçekleştirebilenler olarak ayrılabilir. Ancak bunların kendi aralarındaki en büyük üstünlükleri giriş ile çıkış arasında yalıtım sağlayabilme kabiliyetleridir. Küçük güçlerde iki yalıtımlı dönüştürücü tip vardır. Bunlar flyback ve forward dönüştürücülerdir ve ikisi de yapısında bulunan manyetik malzemenin depoladığı enerjiye endeksli olarak çalışır. Bu yapılar yüksek güçlü uygulamalarda tercih edilmemektedir. Yüksek güçlü uygulamalarda bu topolojilerin dışında tam köprü, yarım köprü ve çok seviyeli yapılar tercih edilmektedir. Yalıtımlı yapılar farklı gerilim seviyelerini yalıtımlı olarak sağlayabilmektedir. Yalıtımlı çift yönlü dönüştürücü seçiminde en önemli unsur yüksek gerilim tarafındaki güvenliğinin tatmin edici düzeyde olmasıdır [14, 18, 19].

Depolama elemanları özellikleri ve hızlı uyarılmaları bakımından sistemin dinamik özelliklerinin iyileşmesini sağlamaktadır. Bu durum ise, sistemin tepkisinin ve enerji yeterliliğinin sınıflandırılması ile ticari olarak yerinin belirlenmesinde önemli bir etken olmaktadır. Klasik kimyasal depolama elemanlarının haricinde elektrikli araçlarda aynı kimyasal depolama elemanları gibi düşük gerilim seviyesine sahip olan süperkapasitörler de kullanılabilir. Bu sistemlerde enerji geri dönüşümü ve yüksek hızlı tepki ile sistemin kararlılığını sürekli korumak ve yalıtım sağlamak için çift yönlü yalıtımlı güç dönüştürücüler tercih edilir. Yalıtımlı çift yönlü dönüştürücü kullanılan sistemlerde düşük gerilim seviyeli kısım ile yüksek gerilim seviyeli kısım arasında elektriksel bir yalıtım söz konusudur. Bunu sağlamak için de transformatör kullanılmaktadır. Bilindiği gibi transformatörler alternatif akım altında çalıştıklarından çift yönlü dönüştürücülerde yüksek ve düşük gerilim tarafında da dönüştürme işleminin temelinde DA-AA dönüşümü vardır. Transformatörün fiyat, boyut, ve ağırlık bakımından daha ekonomik hale getirilmesi ve filtre elemanlarının daha düşük değerde seçilebilmesi için yüksek frekanslı anahtarlama ile kullanılır [14, 19].

4.1.1. "Dual aktif bridge" yalıtımlı çift yönlü da-da dönüştürücüler

ÇYD'ler iki yönlü güç akışına izin vermektedirler. Bu sayede sistemde bataryalardan yüke veya yükün generatör olarak çalıştığı durumlarda yükten kaynağa enerji transferini tek yapı üzerinden yapabilirler [17]. İzoleli tip çift yönlü dönüştürücüler yalıtımsız olan sistemlere göre daha pahalı, daha karmaşık ve kontrol edilmesi daha zor olmasına rağmen dönüştürücünün, esnekliği sebebiyle daha gelişmiş algoritmaların uygulanmasına imkân verirler. İzoleli tip ÇYD'lerde yüksek güçlü ve hassas uygulamalarda yarım köprü ve tam köprü bağlantı şekilleri literatürde görülse de daha çok tam köprü bağlantı şekli tercih edilmektedir. Çünkü tam köprü bağlantıda çok düşük seviyede olan akım gerilim değişimleri dönüştürücünün yapısında bulunan yüksek frekanslı transformatörün dönüştürme oranı sebebiyle etkiyi minimize edecektir. Böylelikle, çıkış filtre akımında oluşan dalgalanmaların düşük seviyede tutulması mümkün olmaktadır.



Şekil 4.1 "Dual aktif bridge" izoleli çift yönlü da-da dönüştürücüler

Şekil 4.1'de iki adet gerilim kaynaklı dönüştürücü yüksek frekanslı bir transformatör ile birbirlerine bağlanmıştır. Bu bağlantı şekli iki ayrı dönüştürücüyü kontrol etmek ve verimli hale getirmek yerine tercihen istenilen bir güç akışı yönü seçilerek tek taraftan kontrol kolaylığı sağlar. Yüksek güçlü uygulamalarda, güç akışının gerilimin düşük olduğu taraftan yüksek olduğu tarafa doğru olduğu durumlarda düşük gerilim tarafı kontrollüdür. Yüksek gerilim tarafı ise doğrultucu olarak çalışmaktadır. Güç akışının, gerilimin yüksek olduğu taraftan düşük olduğu tarafa doğru olduğu durumlarda ise yüksek gerilim tarafı kontrollüdür. Düşük gerilim tarafı ise doğrultucu olarak çalışmaktadır. Sistemin çalışmasının temelinde kaynak gerilimi önce yüksek frekanslı alternatif akıma dönüştürülür ve transformatörün dönüştürme oranı kadar yükseltilir. Sekonder tarafının bağlı olduğu kontrolsüz doğrultucu ile tekrar gerilim doğrultulur. Bu yapıda sıfır geçiş anahtarlama kullanılarak kayıplar en aza indirilebilir. Kullanılan yüksek frekanslı transformatör gerilimin yüksek frekanslı AA olarak transformatörün dönüştürme oranı kadar değişimle diğer dönüştürücüye iletmek amacıyla kullanılmıştır. Sistemin verimli çalışabilmesi için transformatörün dönüştürme oranı kadar güç dönüştürme işlemi yapılması gerekir. Kullanılan sönümleme kondansatörleri ile anahtarların kayıpları en aza indirilmeye çalışılır.

Bu topolojinin dezavantajı ise tam yük altında çalışmadığı durumlarda sistem veriminin çok düşük olmasıdır. Çünkü kayıpların çoğu tam yük altında sıfır geçiş anahtarlama ile giderilmeye çalışılır. Sonuç olarak düşük güç aktarımı yapıldığında

sirkülasyon akımları meydana geleceğinden transformatörün düşük yükte kayıpları artacaktır. Tercihen tüm uygulamalarda bu konunun önüne geçebilmek için tam yük altında çalışılır, tasarlama yapılırken sistemin gerçek gücü göz önünde bulundurulur.

Bu topolojide değişik yüklere göre verim analizi yapabilmek ve yüksek verimde çalışabilmek için kontrol tekniklerinin hangisinin kullanılacağı önem kazanmıştır. Faz kaydırma tekniği kullanılıyor ise anahtarlama frekansı günümüz anahtarları ile 20-40 Khz arasında tutulmaktadır. Bunun nedeni yüksek güçlerde anahtarlama frekansından oluşacak kayıpların sıfır geçişle giderilmeye çalışıldığı ve ideal olarak giderildiği durumun bu aralıkta olmasıdır. Ancak anahtarlama frekansının limitlerini kısıtlayan başka bir etkende transformatörün düşük frekanslarda doyuma gidebilmesidir.

Dönüştürücülerin tüm çalışma aralığında verimin yüksek tutulabilmesi amacıyla önerilen bir başka kombinasyon ise faz kaydırma ile doluluk-boşluk oranının ilişkilendirilmesidir [18, 19].

4.1.2.DC-DC Dönüştürücü modülasyon metotları

Bu yapıda temel 3 çeşit modülasyon yöntemi vardır. Kare dalga modu, üçgen akım modu, trapezoidal akım modu olarak gruplanır.

- Kare dalga modu metodunda %50 doluluk oranında çalışılmakta ve transformatörün primer ve sekonderi yüksek güç akışına izin vermektedir. Temel olarak bu modülasyon metodu kullanıldığı zaman ani anahtar akımları meydana gelmektedir. Fakat düşük seviyede anahtarlama kaybı amaçlandığından ani anahtar akım değişimleri istenmemektedir. Bu yüzden bu modülasyon metodu bu topolojiye uygun değildir.
- Üçgen akım modu metodunda doluluk oranı %50'nin altında olsa bile primer ve sekonder tarafındaki anahtar kayıpları düşük seviyededir.

- Trapezoidal akım modu metodunda sekonder veya primer tarafında doluluk oranı %50 nin altına düşmesi durumunda da transformatör giriş ve çıkış gerilimleri korunur. Üçgen akım moduyla kıyaslandığında, gerektiğinde bu mod ilave olarak daha fazla güç akışına izin verebilmektedir. Triangular akım mode sadece sıfır akım anahtarla yönteminin tek başına kullanılmasına izin verir.

Transformatörün dönüştürme oranı ve sekonder gerilimin minimum, primer geriliminin maksimum durumları ele alındığında;

$$n < \frac{V_{2min}}{V_{1max}} \quad (4.1)$$

olarak yazılır. Eş. 4.2 ile trapezoidal akım modunda sistemin ne kadar güç aktardığı bulunabilmektedir. Burada f_s anahtarlama frekansı, V_1 ve V_2 primer ve sekonder gerilimleri, n transformatör dönüştürme oranı, L dönüştürücü indüktansı, I_{L2} primer tarafındaki anahtarlama akımıdır [22].

$$P = \frac{V_1 \left(\frac{V_1 V_2 - V_1}{4L f_s} + I_{L2} \frac{n V_1^2}{V_2} - L f_s I_{L2}^2 \left(\left(\frac{n V_1}{V_2} \right)^2 + \frac{n V_1}{V_2} + 1 \right) \right)}{V_2/n} \quad (4.2)$$

4.1.3. Seri rezonans tip yalıtımlı çift yönlü da-da dönüştürücüler

Standart tam köprü yalıtımlı tip çift yönlü dönüştürücü topolojisini temel alan bir yapıdır. Yapısında birbirine arada yüksek frekanslı bir transformatör olacak şekilde bağlanmış iki adet tam köprü dönüştürücü ve LC seri rezonans elemanları bulunmaktadır. Sistemin temel devre şeması Şekil 4.3'de verilmiştir. Sistemin ideal yapıya uygun olması (simetrik iki adet tam köprü dönüştürücü) çift yönlü güç kontrolünü ileri düzey uygulamalar için cazip kılmaktadır. Çift yönlü güç akışı için sistemin girişi ve çıkışı herhangi bir DA kaynak olabilmektedir. Ancak çift yönlü güç akışında, akışın yönüne göre giriş veya çıkış olarak kullanılan kısımlarda, girişte DA kaynak çıkışta yük olacak şekilde kullanılmalıdır. Yani güç yönü seçilmesi kontrol sistemine yaptırıldıktan sonra güç akışı tek yönlü olacağından sistemin çıkışı yüke

bağlı olmalıdır. Bütün anahtarlar %50 doluluk oranıyla çalışmakta ancak iki köprü arasında faz farkı bulunmaktadır [20]. Bu topolojinin en büyük dezavantajı seri rezonans elemanı olarak kullanılan LC yapıdaki kondansatör üzerinden yük akımının hepsinin geçmesidir. Bu durum kondansatör boyutunun büyümesine, güvenliğin azalmasına ve maliyetinin artmasına sebep olmaktadır.

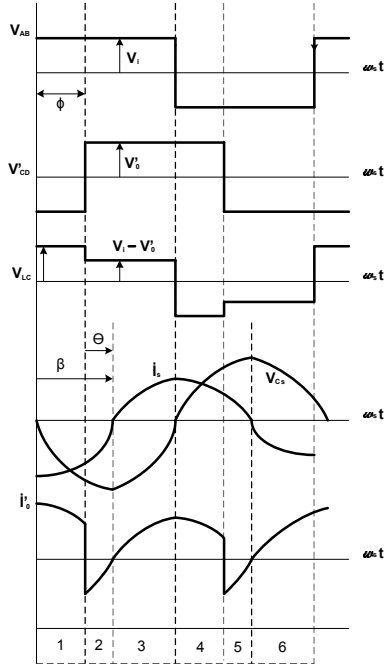
Anahtarlama frekansı LC rezonans elemanı rezonans frekansının hemen üstünde bir değere sabitlenir. Böylece dönüştürücü sadece sürekli akım durumunda çalışır. Güç transferi kontrolü faz kaydırma açısı ile kontrol edilir ve güç akışının polaritesi faz kaydırma polaritesine göre belirlenir. Herhangi bir kontrol yöntemiyle faz kaydırma açısındaki çok küçük değişimlerle çıkış gerilimi rahatlıkla düzenlenebilir. Burada kullanılan transformatörün kaçak indüktansı rezonans devresinin seri indüktansı olarak kullanılır. Çalışma bölgeleri olarak seri rezonans ÇYD'lerin durumları incelendiğinde;

Kontrollü doğrultucu durumu

Bu mod her türlü yük çeşidi için geçerliğini sürdürür. Güç akışı kaynaktan yüke doğrudur. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi transformatörün kaynak yönündeki gerilimi, yük tarafındaki gerilimden Φ kadar öndedir. Depo edilen akım $\dot{I}_s$, θ kadar sekonder geriliminden geridedir ve rezonans kondansatörünün akımı $\dot{I}_s$ primer geriliminden β kadar geridedir. Bu terimler arasındaki bağıntı ise;

$$\theta = \beta - \Phi \quad (4.3)$$

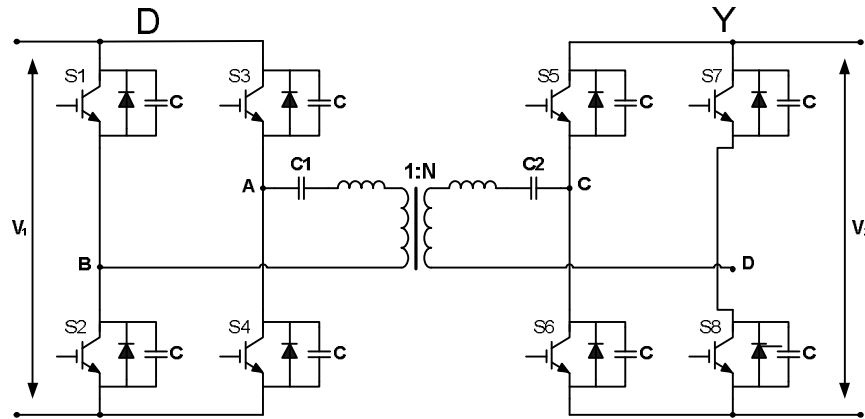
olarak belirlenir. Bu eşitlikten θ değerinin sıfıra eşit olmayacağı anlaşılmaktadır ve doğrultucunun çıkış akımı $\dot{I}_0$ sekonder gerilimiyle aynı fazdadır. İlk tam köprü yapı için antiparalel diyotlar ana anahtarlardan önce ilettime geçer ve anahtarlar sıfır gerilim anında iletimdedir. İkinci tam köprü yapıda ise ana anahtarlar antiparalel diyotlardan önce ilettime geçer böylece anahtarlar akımın sıfır olduğu durumlarda yalıttır.



Şekil 4.2 Devre topolojisine göre kontrollü doğrultucu modu dalga şekilleri

3-4-6 bölümleri

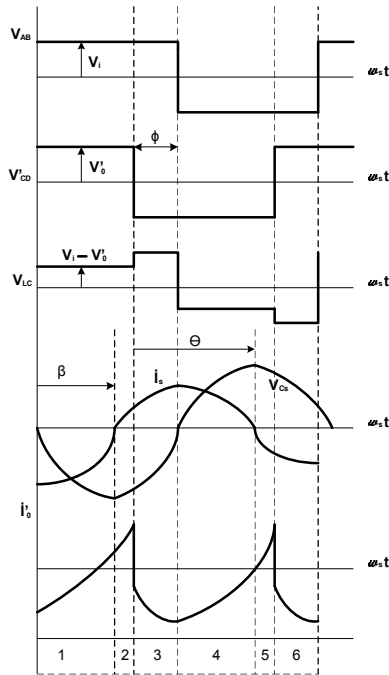
Bu bölüm primer gerilimi “0”a giderken başlamaktadır. Rezonans indüktöründe akım doğal olarak değişir ve diyotlardaki kayma anahtarların yerini diyotların almasına neden olur. S1 ve S4 sıfır gerilimde iletimdedir, S5 ve S8 sıfır akımda yalıtımdadır. Rezonans kondansatörü vasıtasıyla primerden sekondere güç akışı olur ve bu durumda S1 ve S4 yalıtımdadır [20-22].



Şekil 4.3 Seri rezonans kontrollü tip çift yönlü da-da dönüştürücü

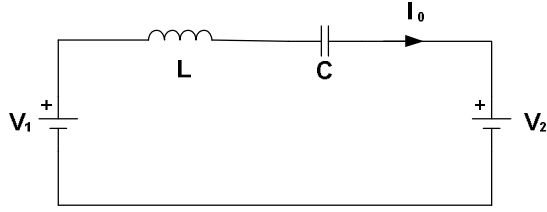
Deşarj durumu

Bu mod sadece gerilim kaynaklı yükler için geçerlidir. Güç akışı primerden sekondere doğrudur. Şekil 4.4' den anlaşılacağı gibi primer gerilimin kontrol edilmesinin sebebi sekonderden geri kalmasının istenmesidir, bu da $\Phi < 0$ anlamına gelmektedir. Rezonans kondansatör akımı $\dot{I}_s$ hala primer geriliminden β kadar geridedir. Sekonder gerilimi de rezonans kondansatörünün akımından pozitif yönde θ kadar öndedir. Bu sistem akışından Eş. 4.3 durumu hala geçerliliğini korumaktadır.



Şekil 4.4 Devre topolojisine göre deşarj modu dalga şekilleri

Primer tarafındaki dönüştürücü sıfır gerilim anahtarlama altında çalışırken sekonder tarafındaki dönüştürücü anahtarları sıfır akım durumunda yalıtımdadır. Benzer şekilde $90^\circ < \theta < 180$ olduğu sürece net güç sekonderden primere akacaktır. Sistemin eşdeğer devresi Şekil 4.5' de verilmiştir [20, 21, 22].



Şekil 4.5 Seri rezonans eşdeğer devresi

Bütün parametrelerin primere aktarılmış şekilleri " ' " işaretinin eklenmesiyle ifade edilmiştir.

$$V_b = V_1 \quad (4.4)$$

$$Z = R'_y \quad (4.5)$$

$$I_b = \frac{V_b}{Z_b} \quad (4.6)$$

olarak ifade edilmiştir. V_1 giriş gerilimi ve gerilim kazancı ise;

$$M = \frac{V'_2}{V_1} \quad (4.7)$$

ve standart anahtarlama frekansı;

$$F = \frac{\omega_s}{\omega_r} = \frac{f_s}{f_r} \quad (4.8)$$

buradan rezonans frekansı Eşitlik 4.9 ile tanımlanabilir;

$$f_r = \frac{\omega_r}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.9)$$

anahtarlama frekansı ise Eşitlik 4.10 ile ifade edilebilir;

$$f_s = \frac{\omega_s}{2\pi} \quad (4.10)$$

ve sistemin reaktans değerleri;

$$X_{L,pu} = Q \cdot F \quad (4.11)$$

$$X_{C,pu} = -\frac{Q}{F} \quad (4.12)$$

$$X_{pu} = X_{C,pu} + X_{L,pu} = Q \left(F - \frac{1}{F} \right) \quad (4.13)$$

olarak bulunur. Q değerini tanımlamak gerekirse;

$$Q = \frac{\omega_r L}{R_L} \quad (4.14)$$

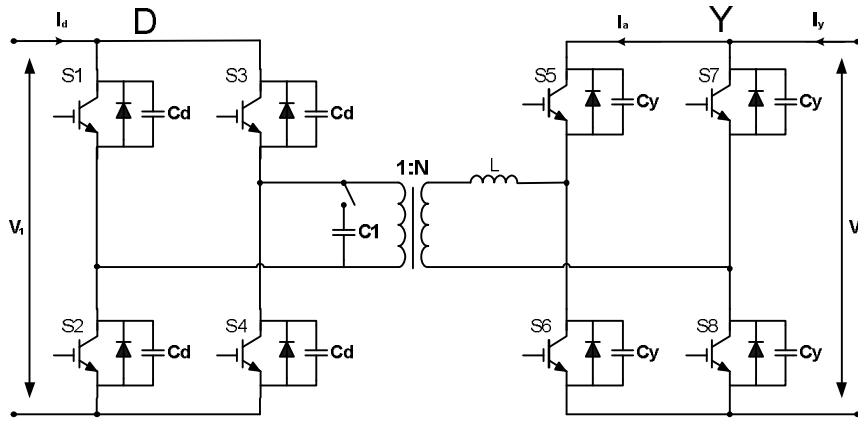
olarak tanımlanabilir [20].

4.1.4. Paralel rezonans tip yalıtımlı çift yönlü da-da dönüştürücüler

Uygulamalarda sıkça rastlanmayan paralel rezonans anahtarlamaı çift yönlü dönüştürücüler güç akışının düşük gerilim seviyeli taraftan yüksek gerilim seviyeli tarafa olduğu durumlarda yükseltici, yüksek gerilim seviyeli taraftan düşük gerilim seviyeli tarafa olduğu durumlarda düşürücü olarak çalışmaktadır. Bu topolojinin en büyük dezavantajı enerjinin iki yönlü akış durumunda da aynı rezonans elemanları kullanmak zorunda olmalarıdır. Teorik olarak rezonansın yapısından dolayı rezonans anahtarlamaı düşürücü tarafta kullanmak gerekmektedir. Bundan dolayı devrede bulunan rezonans kondansatörü harici bir anahtarla uygun durumda devreye alınıp çıkarılmalıdır [14].

Güç akışı düşük gerilim tarafından yüksek gerilim tarafına olduğu süreçte gerilim kaynağı V_1 ve C1 rezonans kondansatörünün önündeki anahtar kapalı durumdadır.

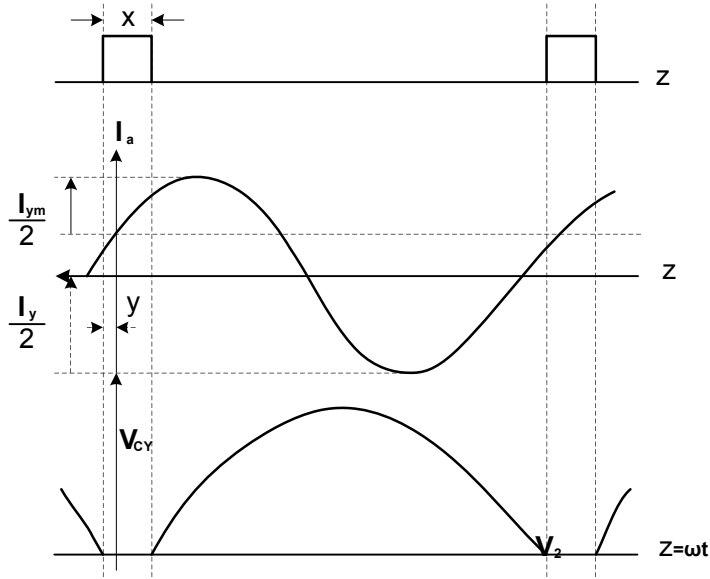
Şekil 4.6'daki D yönündeki anahtarlar bu durumda kontrollü ve standart yükseltici dönüştürücü olarak çalışmakta, Y tarafındaki anahtarlar kontrolsüz doğrultucu olarak çalışmaktadır. Bu durumdaki rezonans elemanları C_1 kondansatörü ve L bobinidir. Güç akışının bu durumun tersi olduğu durumda ise Y tarafındaki anahtarlar kontrollüdür ve standart düşürücü dönüştürücü olarak çalışmaktadır. D tarafındaki anahtarlar kontrolsüzdür ve bu taraf kontrolsüz doğrultucu olarak çalışmaktadır. Bu durumda rezonans elemanları L bobini ve C_d kondansatörüdür. C_1 in önündeki anahtar açık durumdadır [23].



Resim 4.6 Paralel rezonans kontrollü tip izoleli çift yönlü da-da dönüştürücü

Düşürücü durumu

Uygun çalışma bölgesi ile en düşük güç transferi için dalga şekli karakteristiği şekilde verilmiştir.



Şekil 4.6 Anlık güç transferi durumu dalga şekli

Dönüştürücü giriş akımı I_y 'nin sabit bir değerde ve dalga şeklinin Şekil 4.7' deki gibi sinüsoidal olduğunu kabul edelim. Dönüştürücünün simetrik özelliğinden dolayı anahtar kol akımı olan I_a şöyle tanımlanabilir;

$$I_a = \frac{I_{ym}}{2} + \sin \omega t + \frac{I_y}{2} \quad (4.15)$$

burada I_{ym} dönüştürücünün akım genliği, ω dönüştürücünün kontrol frekansıdır. C_y ilk durumda sıfır gerilim anında şarj olurken, akımın yönü değiştiği zaman sıfır gerilim anında deşarj olmaktadır. Bundan dolayı;

$$\int_{x-y}^{2\pi-y} \left(\frac{I_{ym}}{2} + \sin \omega t + \frac{I_y}{2} \right) d(\omega t) = 0 \quad (4.16)$$

olmalıdır. Bu formülde anahtarların kontrol sinyallerinin genliği x , kol akımının başlangıcı y olarak tanımlanmıştır. Bu denklem çözüldüğü zaman dönüştürücü giriş akımı I_y ve çıkış akımı I_{ym} arasındaki kontrol sinyallerinin genişliği bakımından ilişki Eş. 4.17 ile tanımlanabilir;

$$\frac{I_{ym}}{I_y} = \sqrt{1 + \left(\frac{\sin x + \pi \left(2 - \frac{x}{\pi} \right)}{1 - \cos x} \right)^2} \quad (4.17)$$

İstenilen C_y değeri kalıcı durum anında V_2 gerilim değeri kadar gerilime şarj olduğu anda değerlendirilebilir. Buradan;

$$\frac{V_2}{2} = \frac{1}{2\pi} \int_{x-y}^{2\pi-y} V_{cy} d(\omega t) \quad (4.18)$$

ve buradan kondansatör gerilimi V_{cy} hesaplanabilir;

$$V_{cy} = \frac{1}{V_{cy}} \int_{x-y}^{\omega t} \left(\frac{I_{ym}}{2} + \sin \omega t + \frac{I_y}{2} \right) d(\omega t) \quad (4.19)$$

ve son olarak Eş. 4.18 ve 4.19 çözümlere C_y 'nin değeri tam olarak hesaplanabilir.

$$C_{y1} = 0,0254 \frac{P_y}{fV_2^2} \left((2\pi - x) \left(\frac{\cos(x-y)}{\sin y} \right) - x + y \right) \quad (4.20)$$

$$C_{y2} = 0,0254 \frac{P_y}{fV_2^2} \left(\frac{1}{2} (2\pi - x)^2 + \frac{\sin x}{\cos y} \right) \quad (4.21)$$

$$C_y = C_{y1} + C_{y2} \quad (4.22)$$

Kondansatör değerini bulurken transfer edilen güç P_y , kontrol frekansı f ve kontrol sinyali genişliği x olarak kullanılmıştır.

Yükseltici durumu

Dönüştürücünün yükseltme fonksiyonu aktif iken C_d için bir değer hesaplamak amacıyla düşürücü durumdaki hesaplamalara paralel bir hesap yapılmalıdır. Buradan I_d ve I_{dm} arasındaki ilişki yükseltici durum için Eş. 4.23 ile ifade edilir;

$$\frac{I_d}{I_{dm}} = \frac{1 + \cos\left(\frac{2t_{ov}}{T}\pi\right)}{\pi\left(1 - \frac{2t_{ov}}{T}\right)} \quad (4.23)$$

burada t_{ov} anahtar kontrol sinyallerinin üst üste geldiği zamandır. Yukarıdaki denklemden C_d değeri tanımlanır;

$$C_d = 0,866 \cdot 10^{-6} \frac{I_{dm}}{I_d} \quad (4.24)$$

elde edilir. Burada C_d değeri için bir çözüm yapılırsa;

$$C_d = \frac{P_d}{fV_1^2} \frac{\pi\left(1 - \frac{t_{ov}}{T}\right)}{1 + \cos\left(\frac{2t_{ov}}{T}\pi\right)} \quad (4.25)$$

olarak bulunur. Burada transfer edilen güç P_d , anahtarların kontrol frekansı f , kontrol sinyallerinin üst üste geldiği zaman t_{ov} olarak kullanılmıştır [14, 23, 24].

4.2. Yalıtımsız Tip Çift Yönlü DA-DA Dönüştürücüler

Yapısında yüksek frekanslı transformatör bulunduran dönüştürücü sistemler yük ve kaynak arasında elektriksel yalıtım sağlamak açısından uygun olmaktadır. Ancak, boyut, ağırlık, verim ve maliyet gibi özellikler açısından değerlendirildiğinde, yalıtımsız dönüştürücülerin avantajlarının öne çıktığı görülür [18, 25].

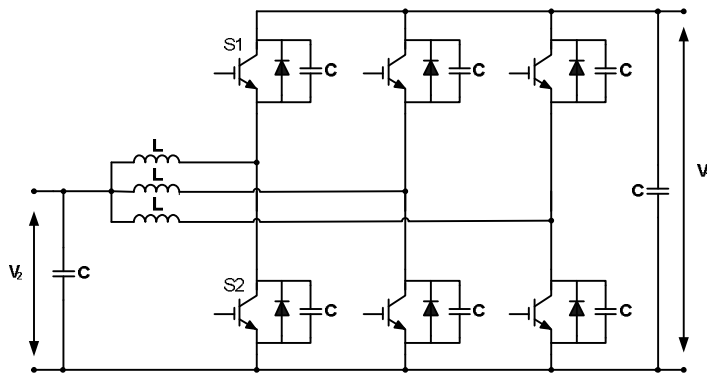
Temel yalıtımsız çift yönlü dönüştürücü yapısı Şekil 4.8' de verilmiştir. Bu yapıda yalıtımlı tip çift yönlü dönüştürücülerde olduğu gibi birbirine paralel iki yapı yerine tek yapı üzerinden yükseltme ve düşürme işlemini yapılmaktadırlar. İzolesiz yapılarda genelde yüksek güç yoğunluğu elde etmek veya güç yoğunluğunu arttırmak amacıyla çok fazlı veya tek fazlı faz kaydırma kontrol stratejisinden faydalanılır. Bu sayede sistemin toplam boyut ve ağırlığı üzerinde önemli etkisi indüktör ağırlığı en aza indirilmiş olur. Yapılan çalışmalarda yalıtımsız tip

dönüştürücülerin, yalıtımlı tip dönüştürücülere göre daha verimli olduğu ve kol akımlarının daha dengeli olduğu görülmüştür.

Motor sürme uygulamalarında ve tümü elektrikli araçlarda en çok tercih edilen yapı olan yalıtımsız çift yönlü dönüştürücü, batarya gerilimini motoru kontrol edecek eviricinin giriş gerilimini sağlayacak değerde bir DA seviyeye yükseltir. Enerjinin yükten kaynağa akma durumu söz konusu ise dönüştürücü düşürücü olarak çalışarak akü şarj gerilimi elde edilmiş olur [18, 25, 26].

4.2.1. Bir fazlı yalıtımsız tip çift yönlü da-da dönüştürücüler

Yalıtımsız tip çift yönlü güç dönüştürücüler genel olarak elektrikli araçlarda enerji yönetim sistemi olarak bilinmektedir. Bunun nedeni ise dönüştürücü çıkışındaki gerilimin, başka bir deyişle DA bara geriliminin yüksek seviyede ve güç yoğunluğunun üst düzeyde olmasıdır. Standart bir elektrikli araçta DA bara gerilimi 200V-300V seviyesindedir. Fakat aracın hareketini sağlayan sistemde bulunan motor ve sürücüler için uygun gerilim seviyesi 600V civarındadır. Dönüştürücü bu gerilim seviyesini yükseltme özelliğini kullanarak elde eder. Diğer bir açıdan değerlendirildiğinde güç aktarma elemanlarının optimizasyonunu sağlar. Buna ek olarak yükten enerji akışı olduğu durumlarda konum değiştirerek şarj sistemi olarak işlev görür. Sistemin şeması üç faza kadar olan durumlar için Şekil 4.8'de verilmiştir. Şekildeki her bir kol bir fazı ifade etmektedir.



Şekil 4.7 Yalıtımsız 3 fazlı çift yönlü da-da dönüştürücü

Bir yalıtımsız çift yönlü dönüştürücü sistemi tasarımıda aşağıda belirtilen özellikler dikkate alınmalıdır;

- Sistemde kullanılan anahtarların karakteristik özellikleri,
- Sistemde bulunan anahtarların güç seviyelerinin uygunluğu,
- Bobin değerinin uygun seçilmesi,
- Sönümlleme kondansatörü değerinin uygun seçilmesi.

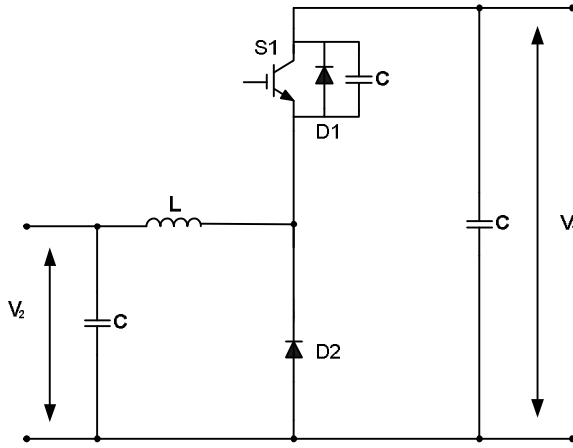
IGBT'lerin anahtarlama frekansı değeri arttıkça anahtarlama kayıpları artar. Uygulamada, düşük değerde sönümlleme kondansatörlerinin seçilmesi devredeki istem dışı dolaşan enerjiyi en az seviyeye indirir. Başka bir açıdan düşük frekans altında çalışan IGBT'lerde düşük iletim kayıpları ve düşük anahtarlama kayıpları oluşur. Ancak, seçilen anahtarda yüksek değerli sönümlleme kondansatörü kullanıldığında anahtar için tehlikeli gerilim sıçramaları daha hızlı sönümlenir. Bunun avantajı yanında önemli bir sakıncası vardır. Kapasitörün değerinin büyümesi sistemin tepki süresinin uzamasına diğer bir ifade ile tepkinin yavaşlamasına neden olur böylece anahtar kesim durumuna daha geç ulaşacaktır.

Bobin değerinin belirlenmesinde de sönümlleme kondansatörünün değerinin belirlenmesine benzer bir yaklaşım kullanılabilir. Anahtarlar bakımından iyi seviyede bir verim için uygun değerde bir bobin değerinin seçilmesi gerekliliği kaçınılmazdır. Uygun değerde bobin seçilmediğinde sistemin verimini veya tepkisini kötü yönde etkileyecektir. Bu yüzden en düşük anahtarlama ve manyetik kayba neden olabilecek bobin değeri seçilmelidir.

İzolesiz tip çift yönlü dönüştürücülerde karakterize edilmesi gereken bir diğer durumda değişken frekans kontrolüdür. Burada akımın pozitif ve negatif yükselmeleri analog karşılaştırma üniteleriyle ve analog değerleri referans alan sayısal kontrol teknikleri ile gerçekleştirilir [29, 30].

Düşürücü konumda çalışma

Sistemin düşürücü yönde çalışma durumu Şekil 4.9 ile verilmiştir. Burada, S_1 anahtarı iletimdedir S_2 anahtarı ise yalıtımda ve enerji akışı V_2 'den V_1 'e doğrudur [29, 52].



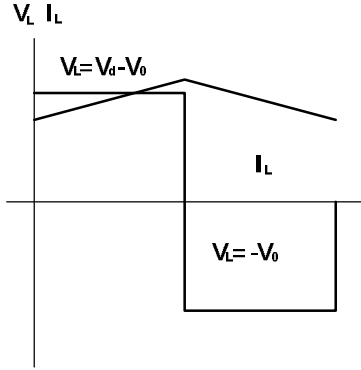
Şekil 4.8 Düşürücü konumda çalışma devre şeması

Tüm elemanlar ideal olarak kabul edilerek ve sabit bir V_o için;

$$\int_0^{S_{1,on}} (V_d - V_o) dt = \int_{S_{1,on}}^{S_{1,off}+S_{1,on}} (-V_o) dt \quad (4.26)$$

$$V_o = \frac{S_{1,on}}{T} = D_1 V_d \quad (4.27)$$

yazılabilir. Aşağıda Şekil 4.10'da yük gerilimi V_L , yük akımı I_L , diyot üzerindeki gerilim V_d olarak kullanılmıştır.



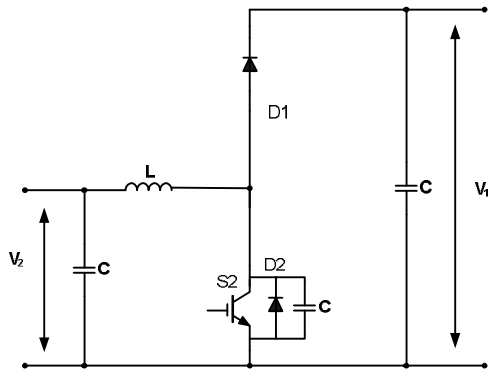
Şekil 4.9 Düşürücü konumda çalışma

burada D_1 'in iletim süresi yüzdece S_1 anahtarının iletim süresidir.

$$D_1 = \frac{s_{1,on}}{T} \quad (4.28)$$

Yükseltici konumda çalışma

Bu durumda enerji akışı V_1 'den V_2 'ye doğrudur. S_2 anahtarı iletimde ve S_1 anahtarı kesimdedir. Sistemin prensip şeması Şekil 4.11'de verilmiştir [29, 52].



Şekil 4.10 Yükseltici konumda çalışma devre şeması

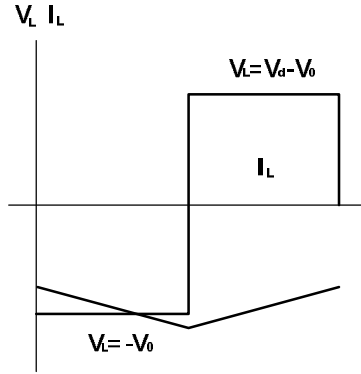
$$\int_0^{s_{2,on}} (V_0) dt = \int_{s_{2,on}}^{s_{2,off} + s_{2,on}} (V_d - V_0) dt \quad (4.29)$$

$$V_d = \frac{s_{2,on}}{T} \quad (4.30)$$

burada D_1 'in iletim süresi yüzdece S_2 anahtarının iletim süresidir.

$$V_d = \frac{1}{1-D_2} V_0 \quad (4.31)$$

Şekil 4.12'de yük gerilimi V_L , yük akımı I_L , diyot üzerindeki gerilim V_d 'nin değişimi görülmektedir [29].



Şekil 4.11 Yükseltici konumda çalışma

5. İKİ FAZLI YALITIMSIZ FAZ KAYDIRMALI ÇİFT YÖNLÜ DÖNÜŞTÜRÜCÜ

Otomotiv sektöründe elektrik enerjisinin kullanılmaya başlanması klasik sistemlerin yerine farklı elektronik uygulamaları bu sektöre adapte etmiştir. Bu sistemlerin verimliliğin artırılması için güç elektroniği teknolojisinde son zamanlarda faz kaydırmalı sistemler neredeyse bütün yapıların içerisine dahil edilmiştir [44, 45, 46]. Faz kaydırmalı ve çok fazlı sistemlerin kullanılmasının en önemli sebebi geleneksel tek fazlı dönüştürücülerin en büyük problemi olan anahtarlama frekansının arttırılmasıyla artan anahtarlama kayıplarıdır. Anahtarlama frekansının arttırılmasıyla gelen filtre boyutlarının küçülmesi gibi olumlu etenlerin yanında, oluşan büyük değerli sirkülasyon akımları, artan anahtarlama kayıpları verimi kabul edilebilir düzeyden aşağı çekmektedir. Bu sorunun çözümü olarak çok fazlı faz kaydırmalı DA-DA dönüştürücüler kullanılmaya başlanmıştır. Çünkü çok fazlı yapılarda efektif frekans faz sayısının temel frekansla çarpılmasıyla elde edilir bu sayede kayıplar faz sayısına bölünmüş olacaktır [43, 47].

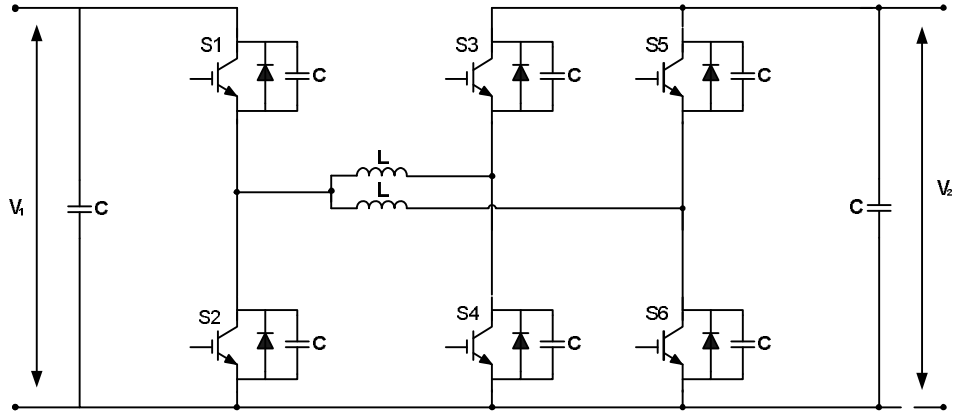
Faz kaydırmanın karakteristik özellikleri bakımından bakıldığında efektif frekansın yükselmesiyle filtre boyutlarının düşmesi, akım dalgalanmalarının neredeyse yok denecek kadar az seviyeye indirilmesi ve sistemin genel verimini arttırmasıyla ilgi odağı olmuştur. Bunların yanında faz kaydırma teknolojisi kendisinin gelişmesine paralel olarak filtre yapılarında etkili olan alüminyum elektrolitik veya polimer organik kondansatörler, film ve seramik kondansatörler ve güç yoğunluğunun modüler olarak arttırılması teknolojilerine de ön ayak olmuştur.

Faz kaydırma sistemleri genelde yapının yüksek güç altında çektiği akımlardan dolayı oluşan kayıpları azaltmayı amaçlamaktadır. Fiyat, ağırlık, kontrol karmaşıklığı, faz sayısının limitleri gibi durumlarda göz önüne alınarak artık elektrikli araç teknolojisinde bu yapı akım kontrol döngülü olarak tercih edilmektedir.

Özellikle düşük değerli yüklerde bobin akımının ters yönde akması sonucunda fazlar için ve her anahtarlama periyodunda meydana gelen sirkülasyon akımları artmakta buda verimi azaltmaktadır. Dengesiz akımlar temelde sistemde kullanılan anahtarlama sinyallerinin doluluk oranlarındaki farklılıklar, bobin değerlerindeki farklılıklar ve her bir faz için kullanılan dönüştürücünün direnç değeri olarak farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Bir diğer yandan bu tip sorunları gidermek için klasik tekniklere de başvurulmuştur. Ancak faz kaydırmalı sistemler klasik sistemlerden daha etkili bir çözüm sunmaktadır. Faz kaydırmalı sistemlerin temel özellikleri aşağıda maddeler halinde verilmektedir [43, 48-51].

- Bobin akımlarının her anahtarlama periyodunda değişmesi sabit frekansta kendiliğinden oluşan sıfır gerilim anahtarlama sebeptir.
- Giriş ve çıkış kondansatörlerinin akım dalgalanmalarını azaltmaktadır.
- Anahtarlama frekansı sabittir.
- Anahtarlama kayıplarını en aza indirir.
- Filtre elemanlarının boyutlarını ve değerlerinin küçülmesini sağlar.
- Yüksek güç dönüşümüne izin verir.
- Yüksek güç kalitesi sağlar.
- Yük akımı her kola dağıldığından daha güvenilir bir yapıdır.
- Elektromanyetik gürültüyü azaltır.

Şekil 5.1'de verilen bağlantı kullanılarak klasik yapıdan daha verimli ve etkili bir topoloji elde edilebilir. Tek dönüştürücü yapısında çoğu zaman düşük giriş gerilimlerinde bile yüksek akımlar çekilebilir. Buda sistemin kontrolünü zorlaştırmaktadır. Paralel yapı kullanılmasıyla akım her bir faz için kullanılan dönüştürücü sayısına eşit olarak bölünmüş ve şarj devrelerindeki istenmeyen durum olan ani akım dalgalanmaları önlenmiş olunur [44, 45].



Şekil 5.1 İzolesi tip faz kaydırmalı çift yönlü da-da dönüştürücü

5.1. Anahtarlama Sinyalinin Elde Edilmesi

Bu sistemde ki anahtarlama sinyallerini üretebilmek için filtre kondansatörünün gerilimi ile bir üçgen sinyal karşılaştırılmaktadır. Ancak sistemde iki adet anahtarlama sinyaline ihtiyaç olduğundan aynı doluluğa sahip iki sinyal üretmek gerekmektedir. Bunu sağlamak için giriş ve çıkış gerilimleri referans alınır. Üçgen sinyalin etkin değerinin (V_u) kondansatör geriliminden (V_c) büyük olduğu durumlarda PWM1, üçgen sinyalin etkin değerinin üçgen sinyalinin tersinin genliğiyle kondansatör geriliminin farkının karşılaştırılması sonucunda ve bu değer (V_f) üçgen sinyalin genliğinde büyük olduğu durumlarda PWM2 oluşur. Anahtarlama sinyallerinin oluşması için temel uygulama Şekil 5.2'de verilmiştir. Bu oluşma şartları Eş. 5.1 ile verilmektedir.

$$V_c = V_1 \quad (5.1)$$

$$V_2 = \overline{V_u} - V_1 \quad (5.2)$$

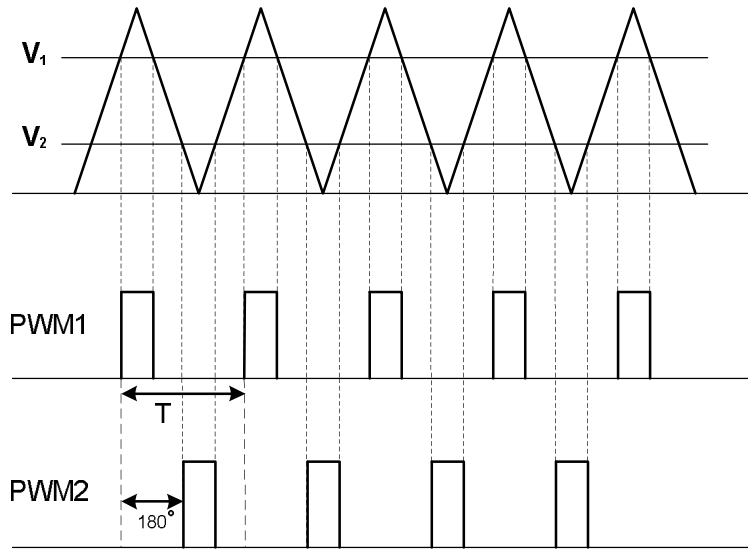
olduğundan buradan PWM1'in oluşma şartı olarak;

$$V_u > V_1 \quad (5.3)$$

Ve buradan PWM2'nin oluşma şartı olarak;

$$V_2 > V_u \quad (5.4)$$

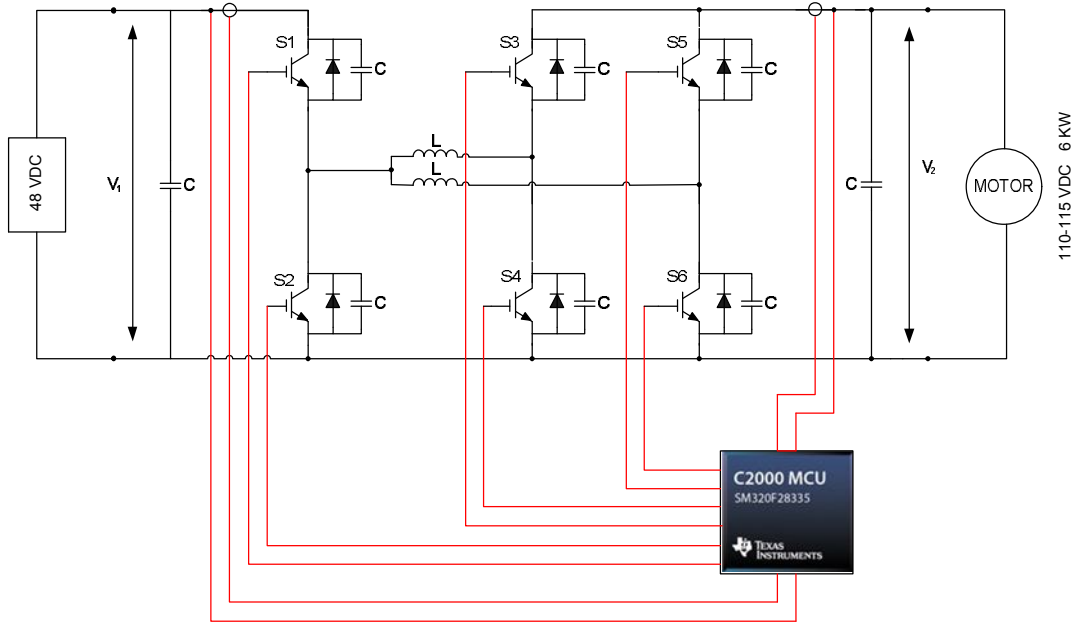
belirlenir [45, 46].



Şekil 5.2 Anahtarlama sinyalinin üretilmesi

5.2. Uygulama Çalışması

Gerçekleştirilen bu devrede aküden motora ve frenleme durumlarında motordan aküye doğru enerji akışının olduğu, yük akımına göre modüler olarak çoğalabilen faz kaydırmalı anahtarlama sistemi kullanılan, akü devresinde tek kol ve motor devresinde iki kol hem düşürücü hem de yükseltici olarak kullanılabilen DA-DA çift yönlü dönüştürücü yapısı kullanılmıştır. Sistemde kullanılan DA-DA çift yönlü dönüştürücü kaynak olarak akü, yük olarak DA elektrik motoru kullanmaktadır. Sistemin prensip şeması Şekil 5.3'de gösterilmektedir.



Şekil 5.3 Uygulama devresi prensip şeması

Önerilen yapıda enerji akışı iki yönlü olduğu gibi fren durumlarında akü şarj akımı ayarlanarak motorun daha kısa veya uzun sürelerde durması sağlanmıştır. Sistemde okunan akım, gerilim değerleri ve kontrol sinyallerinin üretilmesi DSP tarafından yapılmaktadır.

5.2.1. Sistemin genel çalışma prensibi

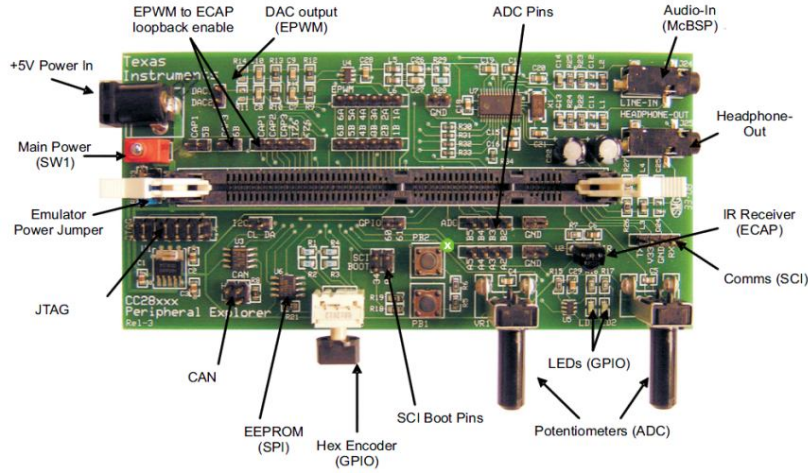
Bir elektrikli araç için elektrik motorunun kalkınması ve frenleme durumunda motorda depolanan enerjinin aküleri şarj etmek için kullanılan sistemde başlangıçta araçtaki akülerin boş olup olmadığı kontrol edilmektedir. Motoru hareket ettirebilecek gerilim ve akım değerini sağlayabilecek durumda olup olmadığı test edilir. Çünkü araçtaki aküler boş ise aracın enerjisi tükenip yolda kalma ihtimali söz konusudur. Daha sonra fren yerine kullanılan butonun basılı olup olmadığı kontrol edilmektedir. Eğer basılı ise sistemin aküden motora enerji aktarması engellenmektedir. Fren basılı olmadığı durumlarda motor gerilimi 100VDC'ye ulaşmaya kadar enerji akışının aküden motora doğru olmasına izin verilmektedir. Gerilim seviyesini sabit tutmak amaçlı bir PI döngüsü çalışmaktadır. Bu işlem süreç

devam ederken fren durumu, motor gerilimi, akü gerilimi ve motor kalkınma akım sınırı sürekli kontrol edilmektedir. Fren butonuna basıldığı anda motor gerilimin akü geriliminden yüksek olup olmadığı kontrol edilerek yükseltme ve düşürme işlemine yönlendirilir. Bu yönlendirmeye göre istenilen motordan aküye doğru akan enerji ile kazanılmak istenin akım değeri sürekli kontrol edilerek akü şarj işlemi gerçekleştirilmektedir. Şarj akımını sabit tutmak amacı ile her akım döngüsünde PI döngüsü çalışmaktadır.

5.2.2. Devre elemanlarının seçimi

Yarı iletken teknolojisinin gelişmesiyle beraber sayısal işaret işleyicilerde büyük gelişme sağlanmıştır. Bu sayede daha kararlı ve hızlı sistemler tasarlamak mümkün olmaktadır. Bu kapsamda bu sistemin tasarımında kontrol ünitesi olarak Texas Instrument'in TMS320F28335 DSP serisi kullanılmıştır. İşlemciyi programlayabilmek ve sinyal işleme kartının daha güvenli olması açısından Texas Instrument'in C2000™ F28x serisi sayısal işaret işleyicileri destekleyen birinci nesil Peripheral Expolerer Kit'i kullanılmıştır. Bu işlemci 150 Mhz'e kadar çalışabilmektedir. Birleşik ADC ve PWM sinyal üretme modüllerine sahiptir.

DSP uluslar arası standartlara uygun olarak JTAG emulator yardımıyla PC bağlantısını gerçekleştirmektedir. Bu emulator yardımı ile veri alışverişi yapmaktadır. Standart işlemcilerden farklı olarak tarama süresi hesabında çarpan etkisinin olmaması osilatör frekansının daha etkin kullanılmasına sebep olmuştur. Ünitenin üzerinde 8 adet analog giriş, 6 adet PWM çıkışı, 3 adet Capture/Compare girişi bulunmaktadır. Çevresel birim kartının üzerindeki bütün fonksiyonlar ve giriş-çıkış portları Resim 5.1'de gösterilmiştir.



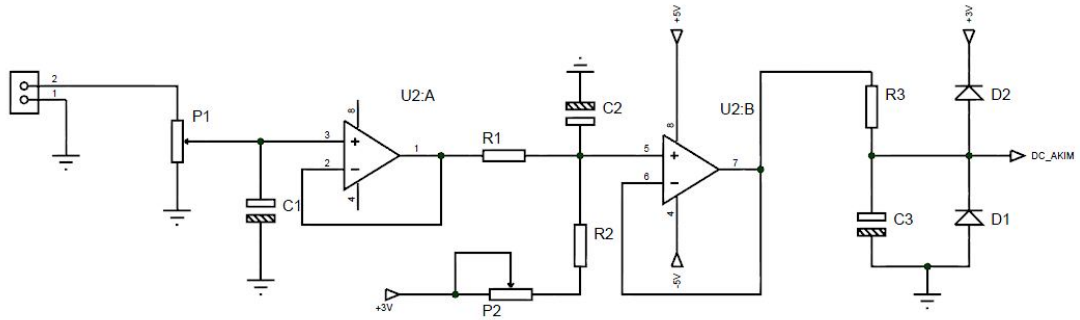
Resim 5.1 Peripheral Expolerer Kit fonksiyonları

Sistemde anahtarlama elemanı olarak motor devresinde CM100BU-12H MITSUBISHI IGBT modülü kullanılmıştır. Dört IGBT içeren bu modül kendi yapısında her bir anahtarlama elemanı için serbest geçiş diyodu içermektedir. Akü kısmında ise iki anahtar olduğundan CM75DU-12H MITSUBISHI IGBT modülü kullanılmıştır. Anahtarlama elemanlarının akım ve gerilimleri sistem gücünü karşılayacak değerlerde seçilmiştir. Araçlar için kullanılacak bu sistemde modüler, montaj kolaylığı ve tek bir soğutucuyla fazla yer kaplamaması açısından modül anahtarlama elemanları seçilmiştir. Anahtarların her birinin anahtarlama sinyal uçları ve güç devresi uçları gövde soğutma kısmından fabrikasyon olarak yalıtımlıdır. Sistemde kullanılan yüksek frekans bobinlerinin indüktansları 1mH ve sürekli çalışma akımları 30A değerindedir.

5.2.3. Akım ve gerilim okuma devresi

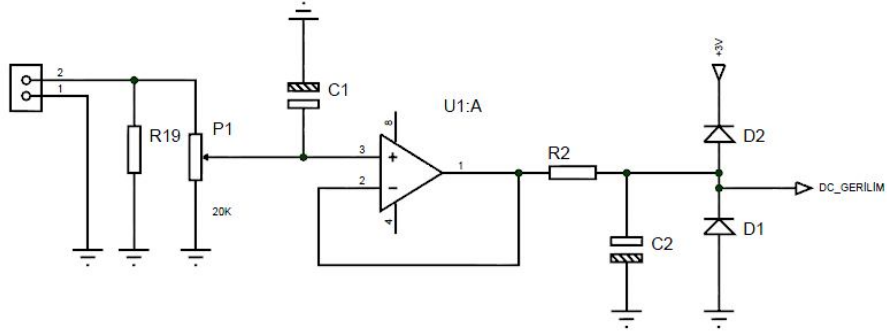
Sistemin giriş ve çıkışındaki akımı ölçmek için LEM firmasının LA-100P kapalı devre akım dönüştürücüleri kullanılmıştır. Klasik seri direnç üzerinden geçen akıma bağlı olarak oluşan gerilimi okuyarak akım değer ölçmek yerine daha gelişmiş, yalıtımlı ve hassas bir sistem kullanılmıştır. Aynı zamanda bu yolla MC analog kanalına verilecek analog veri yükselteç besleme gerilimi ile sınırlandırıldığı gibi akım algılayıcının çıkışı yüklenmeden gerekli seviyeye yükseltilmiş olur. Bu sayede

okuma sırasında doğrusallık sağlanır. Bu dönüştürücülerin akım-gerilim dönüştürme oranı 1/2000'dir. Akım taşıyan iletken toroid şeklindeki manyetik nüvenin içinden geçirilir. Akım değerine göre gerilim çıkışı verebilmektedir. Sistemdeki akım yönü iki yönlü olduğundan devre eksi değerlikli akımları da ölçebilmektedir. Bu sayede bir adet akım okuma devresi kullanılmıştır. Akım ölçmek için kullanılan akım dönüştürücünün her akım değeri için ürettiği gerilimi 0-3,3V seviyesine indiren Şekil 5.4'deki akım okuma devresiyle mikrodenetleyicinin okuyabileceği şartlandırılmış analog okuma gerilim seviyeleri elde edilmiştir.



Şekil 5.4 DA akım okuma ve sinyal şartlandırma devresi

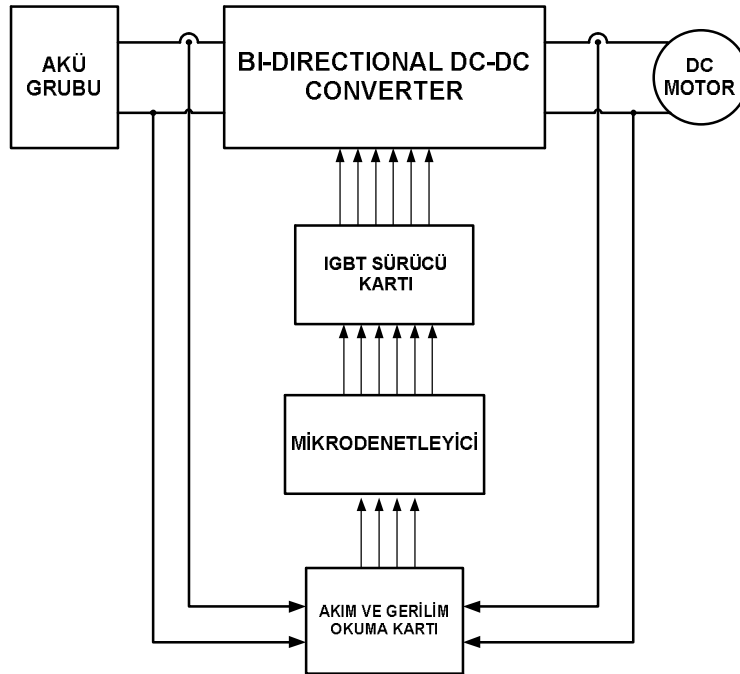
Sistemdeki akü gerilimini ve motor gerilimini ölçmek için 55-100V'dan 0-12 V seviyesine gerilimi bölerek indiren düşük toleranslı dirençler içeren gerilim bölücü devreleri kullanılmıştır. Daha sonra Şekil 5.5'de gerilim okuma devresiyle 0-3,3 V seviyesine indirilerek ölçülmüştür. Akım okuma devresinde olduğu gibi burada da yükselteçli devre kullanılmıştır. Bu sayede gerilim seviyesindeki yüksek değerin dalgalanmaları da giderilmiş olur.



Şekil 5.5 DA gerilim okuma devresi

Bu akım ve gerilim okuma devreleri PWM sinyal yalıtım devresi, simetrik besleme devresi, IGBT sürücü bağlantı devresiyle birleştirilerek tek kart haline getirilmiştir. Bu sayede sistem için gerekli olan bütün analog ve dijital girişler tek bir kart üzerinden yapılmaktadır.

5.2.4. Çift yönlü dönüştürücü tasarımı



Şekil 5.6 Tasarlanan sistemin blok diyagramı

Şekil 5.6'da sistemin blok diyagramı görülmektedir. Önerilen bu yapıda;

- Yüksek akım değerli akü kullanılarak yol mesafesinin arttırılması,
- Akü gerilimlerinde düşme olsa dahi sistemin karşılayabileceği en yüksek gücün kullanılabilmesi,
- Aracın ihtiyacına göre değişik gerilim seviyelerinde ve bunun paralelinde sabit hız elde edilmesi,
- Anahtarlama elemanlarının yalıtımlı olarak sürülmesi,
- Daha hızlı analog okuma ve sinyal işleme özellikleriyle hassasiyetin artırılması,
- Aynı sistem yapısı üzerinden hem DA-DA dönüştürücü hem de akü şarj sisteminin çift yönlü olarak kullanılması,
- Faz kaydırma ile belirlenen akım değerlerinde modüler olarak akım kolu artırarak elemanların ömrünün uzatılması,
- Yumuşak anahtarla yöntemi kullanarak motorun kalkınma akımının ayarlanabilmesi,

amaçları göz önünde bulundurularak 6 KW gücünde çift yönlü çalışabilen faz kaydırmalı DA-DA dönüştürücü tasarlanmıştır.

5.2.5. Uygulama sonuçları

Tasarlanan sistemde kaynak olarak B.B HR50-12. markalı 12V 48Ah değerlerinde anlık olarak yüksek şarj ve deşarj akımlarını sağlayabilen aküler kullanılmıştır. Sistemin beslemesi 48V olarak düşünüldüğünden 4 adet seri bağlı akü kullanılmıştır. Resim 5.2'de motor ve akü grubunun görünüşleri verilmiştir.



Resim 5.2 Motor-Akü grubu genel görünümü

1. DA Motor 2. Akü grubu 3. DA motor uyarıtımı

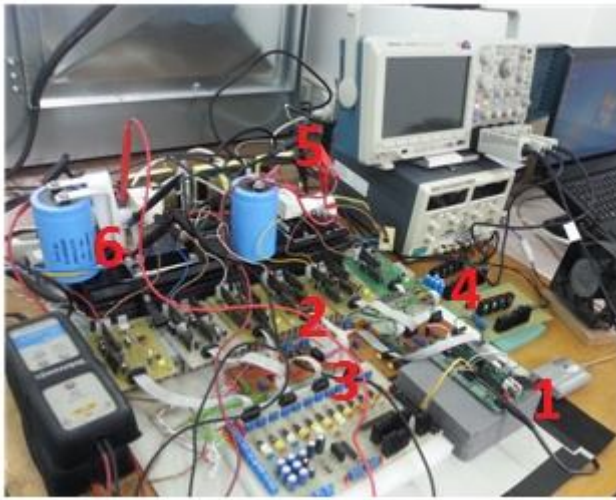
Aküler sisteme DA hızlı sigorta üzerinden bağlanmıştır. Araç motorunu temsil etmesi için SIEMENS marka 6kW 115V, uyarıtım gerilimi 110VDA değerlerinde olan yabancı uyarıtlı DA motor kullanılmıştır. Motor etiket değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Motor etiket değerleri

<u>V</u>	<u>A</u>	<u>kW</u>	<u>r.p.m.</u>	<u>Uyarıtım(V)</u>	<u>Uyarıtım(I)</u>	<u>IP</u>
115V	42,9	4kW	1500	110V	1,6A	21
115V	44,3	6kW	1500	110V	2A	21

Motorun uyarıtım devresini beslemek amacı ile ayarlı AA gerilim kaynağı gerilimi doğrultularak, uyarıtım devresinden 1.5A akım geçmesini sağlayan 53V DA elde edilmiştir. Uyarıtım akımı 2A seviyesine kadar çıkarılabilmektedir. Bu geriliminin belirlenmesi için motor uyarıtım devresinin direnç değeri ölçülerek gerekli akım değeri hesaplanmıştır. Bunun sonucunda hem uyarıtım sargılarına zarar vermeyecek hem de hızdan taviz vermeyecek şekilde bir akım değeri seçilmiştir. Sistemde akım

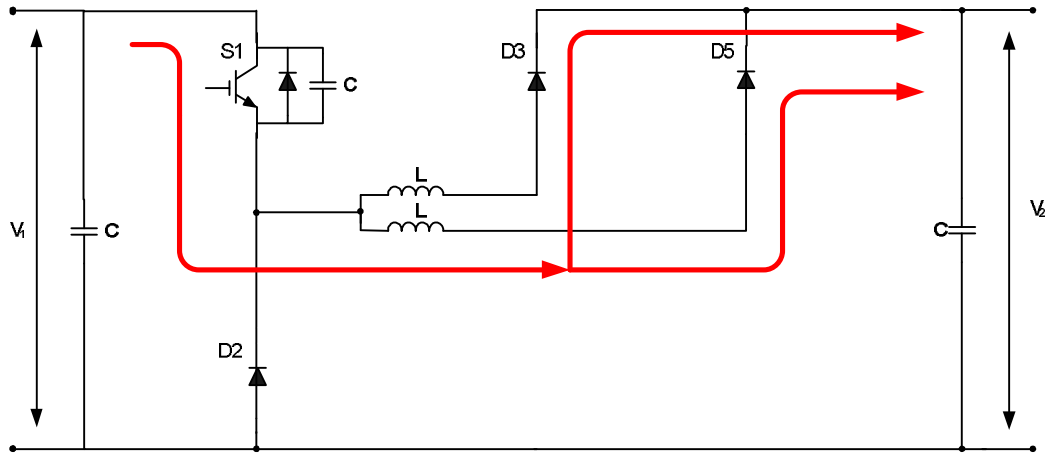
değerini karşılamak amacıyla her bir kol için ayrı iki adet, toplamda 4 adet indüktör kullanılmıştır. Bu indüktörler dağıtılmış hava aralığı özelliğine sahiptir Kool μ materyalden yapılan EE803820 ölçülerinde nüve üzerine Litz telinden 77 tur sargı ile elde edilmiştir. Bu değerler paralelinde ayrıklı nüveli 1mh 16A olan indüktörlerden her kol için 2 adet kullanılmıştır. Sistemin genel görünüşü Resim 5.3'de görülmektedir.



Resim 5.3 Güç ve kontrol sistemi genel görünüşü

1. TMS320F28335 2. Sürücü kartları 3. Akım/Gerilim okuma kartları
4. Simetrik besleme kartları 5. Akü güç devresi 6. Motor güç devresi

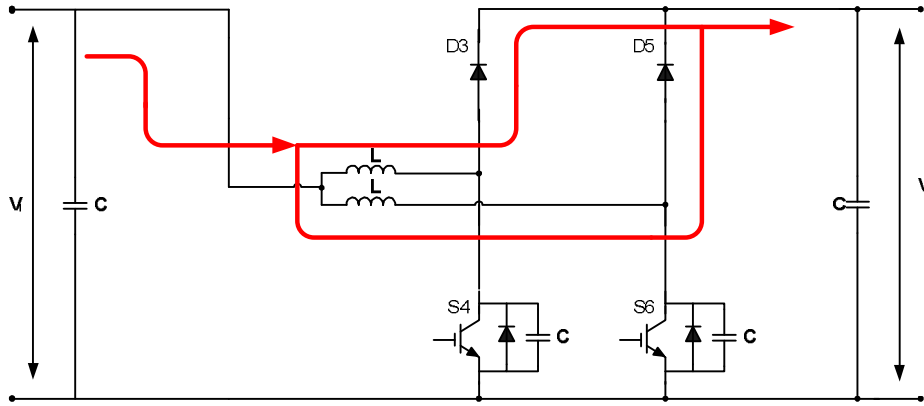
Şekil 5.8’de güç akışının aküden motora doğru düşürücü dönüştürücü olarak çalışması için gerekli anahtar durumları verilmiştir. Sistem ilk çalışma anında hiçbir anahtarlama olmadığından motorun fren butonuna basılması ya da basılmaması bir önem arz etmemekte olup durağan vaziyettir. Bu anda sistem motor gerilimi, akü gerilimi denetimi yaparak hangi durumda çalışacağına karar vermektedir. İlk durumda akü gerilimi motor gerilimden büyük olduğundan ilk kalkınma anında yüksek akım çekmemesi amacı ile yumuşak anahtarlama yaptırılarak gerilim sıfırdan başlayıp akü gerilimi seviyesine gelene kadar DA-DA dönüştürücü düşürücü olarak çalıştırılmaktadır. Düşürme işlemi 0V'dan başlanarak motor gerilimi akü geriliminin 1V altına gelecek şekilde yapılmaktadır. Kademeli olarak yapılan bu düşürme işlemi gerilime bağlı olarak akımın doğrusal olarak artmasından ve gerilimin sürekli olarak takip edilmesinden dolayı oluşabilecek sorunların önlemektedir.



Şekil 5.7 Aküden motora doğru düşürücü konumda çalışma

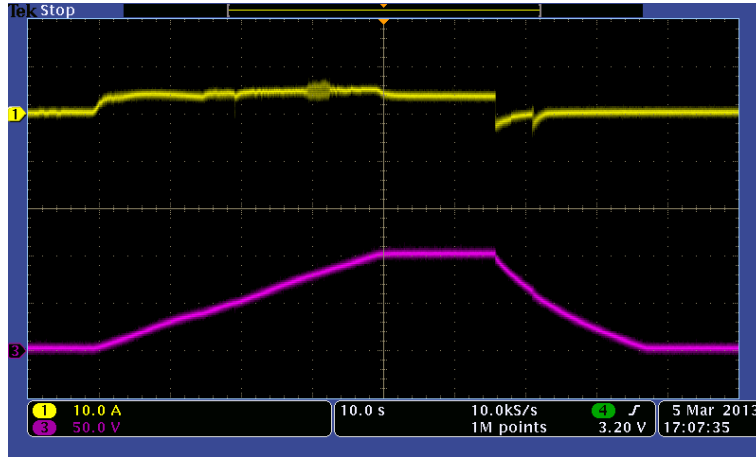
Düşürme işleminde ilk anda anahtarlama oranını sıfırdan başlatarak S1 anahtarı anahtarlannmıştır. S3 ve S5 anahtarı sürekli iletim konumuna getirilmiştir. S1'in doluluk oranı kademeli olarak artırılmaktadır. Bu sayede yükseltici konuma geçebilmek ve yükseltici konuma geçerken akülerden fazla akım çekmemek amacı ile gerilim seviyesi akü seviyesine getirilmiş olur.

Motor kalkınma akımı göz önünde bulundurularak ikinci koldaki S5 anahtarı ve S3 anahtarı IGBT yapısında bulunan diyotlardan dolayı iletimde veya yalıtımda olabilmektedir Akımı bu iki kol, IGBT'lerin üretim özelliklerine göre 0,1A farkla paylaşmaktadır. Motor ilk kalkınma anında yumuşak anahtarlama yapsa bile olabilecek arızalara karşı ilk kalkınma anında hem yükseltme hem de düşürme durumları için en fazla 20 amper çekebilecek şekilde ayarlanmıştır. Akım sınırlarının her ikisinde de bant aralığı olarak %1 tolerans tanınmıştır. Eğer motor kalkınma süresi artırılmak ve azaltılmak istenirse akım sınır değerleri yazılımla değiştirilebilmektedir. Kalkınma anındaki akülerden çekilen akıma yazılımsal olarak 40 ampere kadar izin verilebilmektedir. Motor kalkınma anından akü seviyesine geldiğinde yaklaşık olarak 200 Watt güç harcamaktadır. Dönüştürme oranı 1/1 olduğundan aküden de aynı oranda akım ve gerilim değerlerine sahiptir.



Şekil 5.8 Aküden motora doğru yükseltici konumda çalışma

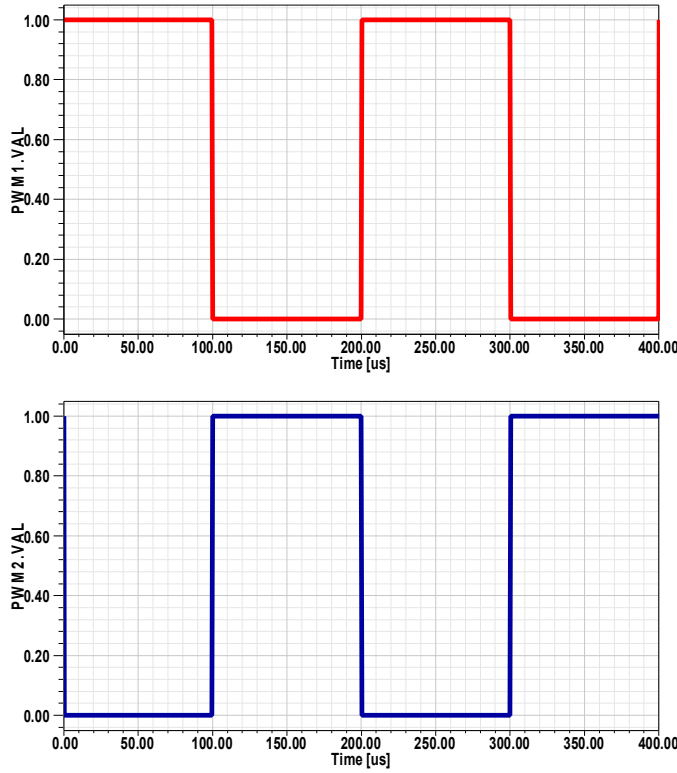
Motor gerilimi akü seviyesine geldiğinde sistem artık aküden motora doğru olan enerji akışında yükseltme yapamayacağından yükseltici konuma geçmektedir. Şekil 5.8’de güç akışının aküden motora doğru yükseltici dönüştürücü olarak çalışması için gerekli anahtar durumları verilmiştir. S1 anahtarı sürekli iletimde ve S4 anahtarını anahtarlayarak yükseltme yapılmıştır. Yükseltme işlemi motor gerilimi 100V olana kadar devam etmektedir. Gerilim PI denetleyici kullanılarak %1 toleransla sabit tutulmaktadır. Fakat yükseltici tip dönüştürücülerde belirli bir dönüştürme oranından sonra gerilimin yükselmesi parabolik olduğundan, anahtarlama oranı artışında düşürücüden farklı bir yöntem izlenmiştir. Burada yazılımsal olarak ilk değer ve artırıldıktan sonraki ilk değer kıyaslanarak daha önceki düşürücü dönüştürücü verileri de baz alınarak anahtarlama oranında arttırma veya azaltma işlemi yapılmıştır.



Resim 5.4 Motorun kalkınma durumu
1.Akım 3.Gerilim

Motorun kalkınma durumuna kadar olan motor akım-gerilim eğrileri Resim 5.4'de verilmiştir. Burada motor gerilimi 100V olana kadar ki gerilim yükselmesi 40 sn sürmektedir. İlk 23 saniye düşürücü olarak çalışan sistem daha sonra yükseltici olarak çalışmaktadır. Motor gerilimi 100 V olduğunda motor 400Watt güç çekmektedir, motor akımı 3,8 amperdir. Bu durumda akü akımı 8,5 amperdir

Sistemde akım korumalı olarak devreye giren ikinci kol anahtarlama sinyalleri arasında 180 derece faz farkı vardır. Enerji akışının aküden motora olduğu durumlarda faz kaydırmalı olarak çalışan ikici koldaki anahtar motor akımının 5 ampere ulaşmasından sonra devreye girmektedir. S6 anahtarı akım sınırından sonra devreye girdiğinde, S4 anahtarının bulunduğu koldaki akım değeri ile S6 kolundaki akım değeri eşit olarak paylaşılmaktadır. Bu akım değeri sistemin kontrol ettiği akım değerlerine göre yazılımsal olarak ayarlanabilmektedir. Faz kaydırmalı olarak kullanılan anahtarla sinyalleri Resim 5.5'de verilmiştir.



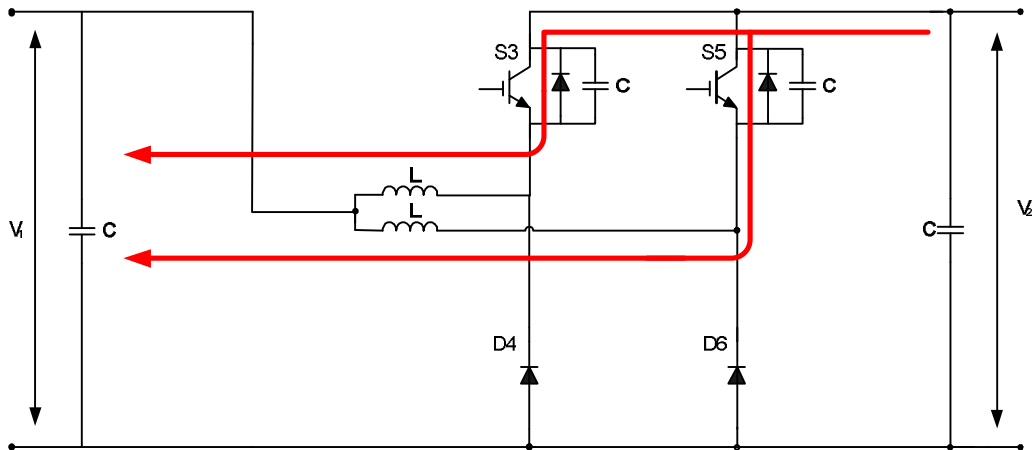
Resim 5.5 Faz kaydırmalı PWM anahtarlama sinyalleri

Motor gerilimi sabitlendikten sonra herhangi bir zamanda fren butonuna basıldığında frenleme enerjisi geri kazanımı sistemi devreye girmektedir. Bu durumu göz önünde bulundurduğumuzda, motorun çalışma eğrisindeki herhangi bir anda fren yapılabilir. Burada fren yapılan andaki motor akım-gerilim ilişkisine göre değişken bir şarj akımı seçilebildiği gibi tüm sistem için tek bir referans şarj akımı da seçilebilmektedir. Şarj durumunda aküler için gerekli olan şarj akımını sağlayabilmek için gerilimin değerinin en fazla 54,5 V olmasına izin verilmiştir. Çünkü mikrodenetleyicinin sinyal işlemede çok hızlı ve ani tepkiler vermesine karşın donanım olarak sistem buna ayak uyduramayacağı için akü şarj geriliminin belirli değerlerin üstüne çıkması ani şarj akımlarına neden olur. Şarj akımının elde edilmesinde gerilim sınırına kadar olan kısımdaki şarj gerilim değişimleri göz önüne alınmamıştır.

Fren butonuna basıldığı anda sistem aynı dönüştürücü ile enerjinin ters yönde akmasına izin vermektedir. Sistem kontrol yapısı fren durumunda motorun serbest

dönme durumuna göre ürettiği gerilimi temel alarak şarj sisteminin düşürücümü yoksa yükseltici konumda çalışacağına karar verir. Bu karar verme işlemini akü gerilimini veya referans gerilim değerini kullanarak yapılabilmektedir. Akü gerilimini temel alan durum için sistem, frenlemeden kazanılan enerjinin gerilim seviyesinin o anki akü geriliminden düşük mü yoksa yüksek mi olduğuna bakmaktadır. Eğer yüksek ise düşürücü konumda, düşük ise yükseltici konumda çalışmaktadır.

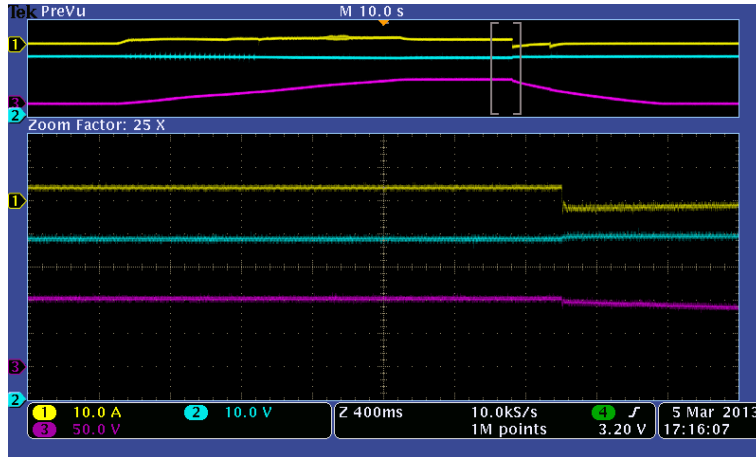
Generatör durumunda üretilen gerilimin akü geriliminin üstünde olduğu durum için düşürücü işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem generatörün ürettiği gerilimin akü geriliminden 5V fazla olma durumuna gelene kadar devam etmektedir. Gerilim düştüğünde, dönüştürücünün dönüştürme oranını belirli aralıktan yukarı çıkarmayarak, aküleri şarj etmek için referans olarak verilen akım değerine en yakın değeri bu süreç boyunca elde etmek için düşürücü konumda akü gerilimine kadar beklenmektedir. Tasarlanan bu sistem için şarj akımı hem aküye zarar vermemek hem de en yüksek miktarda enerjiyi geri kazanmak için 10A olarak belirlenmiştir. Şarj akımı değerini elde etmek için analog okuma hızında işlem yapan PI denetleyici kullanılmaktadır.



Şekil 5.9 Motordan aküye doğru düşürücü konumda çalışma

Şekil 5.9’da güç akışının motordan aküye doğru düşürücü dönüştürücü olarak çalışması için gerekli anahtar durumları verilmiştir. Generatör düşürücü konumda

düşürme işlemi için S3 ve S5 anahtarlarının anahtarlanması modüler yapıdaki diyotlardan dolayı yeterli olacaktır. Burada üretilen kontrol sinyalleri de faz kaydırmalı olduğundan şarj akımının belirli bir değerinden sonra ikinci kol devreye girmektedir. Bu kol sayısı akım değerine ve kontrol sisteminin elverişliliğine göre değişiklik gösterebilmektedir. Bu sistemde 10A olarak seçilen şarj akımı için ikinci kol akım sınırı 5A olarak belirlenmiştir. 5A'ın altındaki durumlar için sadece S3 anahtarı devrede 5A ve üstü durumlar için S3 ve S5 anahtarları beraber devrededir. Aynı şekilde kollar fabrika üretim parametrelerine göre akım değerini 0,1A farkla paylaşabilmektedirler. Kontrol sinyallerinin arızası, akü şarj akımının aşırı akması, kısa devre gibi arıza durumları için şarj akımının en yüksek değeri 20A olarak belirlenmiştir. Aksi durumlarda sistem durağan duruma geçmektedir. Generatör çalışma durumundaki akü şarj akımı Resim 5.6'da gösterilmiştir.



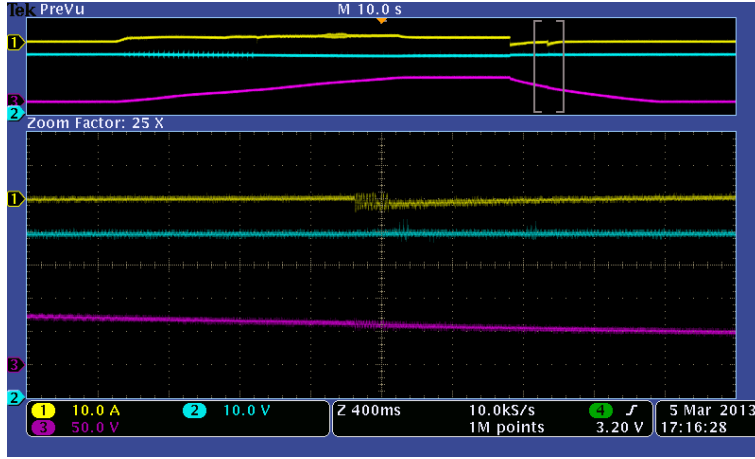
Resim 5.6 Düşürme işlemindeki akü şarj durumu

1. Akü akımı 2. Akü gerilimi 3. Motor gerilimi

Bu şekilde akü şarj geriliminin sıçrama ve düşme yaptığı noktalar mikroişlemcinin analog okuma hızıyla orantılıdır. Tasarlanan bu sistemde mikroişlemcinin komut satırı işleme hızına engel olmayacak en yüksek analog okuma örnekleme süresi kullanılmıştır. Bu süre saniyede 1000 örnekleme olarak tasarlanmıştır.

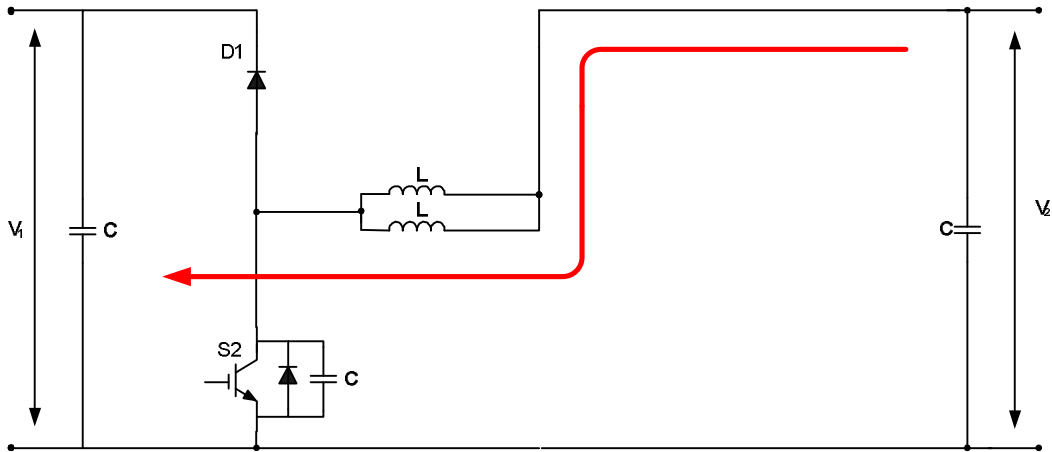
Sistemin ters yönlü çalıştığı durumlarda düşürücü konum şarj devresinden elde edilen akım ile yükseltici konumda elde edilen akımın şarj etme süreleri farklıdır ve motor gerilimi düştükçe çekilebilecek şarj akımı da azalmaktadır. Çünkü yükseltme

işleminde giriş gerilimiyle çıkış gerilimi arasındaki dönüştürme oranı, akım oranlarında da aynıdır.



Resim 5.7 Yükseltme işlemindeki akü şarj durumu
1. Akü akımı 2. Akü gerilimi 3. Motor gerilimi

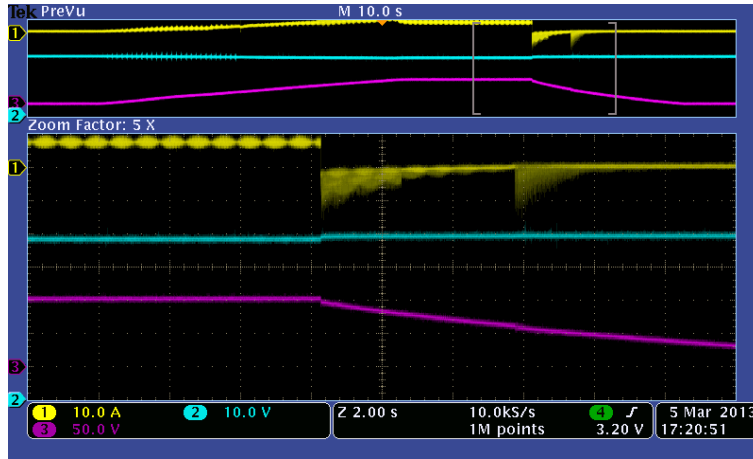
Generatör olarak çalışan motordan çekilen akım yüksek iken akü şarj akımı gerilimin dönüştürme oranına göre daha azdır ve motor duruş süresi daha kısadır Bu yüzden yükseltme işleminde şarj süresi kısalmaktadır. Fren anındaki gerçekleşen yükseltme işlemindeki şarj akımı değişimi Resim 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.10 Motordan aküye doğru yükseltici konumda çalışma

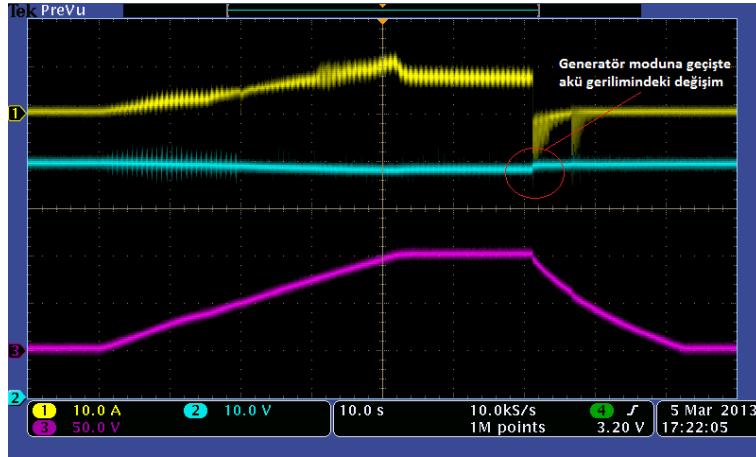
Fren anında üretilen gerilimin değeri akü geriliminden 5V fazla olduğu anda artık çift yönlü dönüştürücü yükseltici konuma geçmektedir. Şekil 5.10'da güç akışının

motordan aküye doğru yükseltici dönüştürücü olarak çalışması için gerekli anahtar durumları verilmiştir. Yükseltici konumda çalışma motorun ürettiği gerilimin 5V, akü şarj akımı değerinin 0,5A olması durumuna kadar devam etmektedir. Gerilim seviyesinin 5V, akımın ise 0,5A olmasından sonra artık sistem tekrar motor yönünde çalışmaya hazır hale gelmektedir. Bu durumda S3 ve S5 anahtarlarının sürekli iletimde, S2'nin ise anahtarlanması gerekmektedir. Fren butonu bırakıldığında motor tekrar yumuşak anahtarlama ile yol alarak döngüyü başa almaktadır. Yükseltici ve düşürücü durumunun şarj akımlarındaki değişimin osilaskop görüntüleri Resim 5.8'de görülmektedir.



Resim 5.8 Şarj akımlarındaki değişim
1. Akü akımı 2.Akü gerilimi 3.Motor gerilimi

Generatör modu şarj durumunda akü gerilimindeki değişim Resim 5.9 'da gösterilmiştir. Şarj akımının referans akım değerinden aşağıya doğru düşmesi, motor devrinin düşmesiyle ve yükseltici dönüştürücü devre topolojisinin davranışıyla orantılıdır. Aynı şekilde akü seviyesine kadar yapılan frenleme enerjisi geri kazanımı şarj sisteminde, kontrol edilebilecek gerilim seviyesi motor devriyle ilişkilidir



Resim 5.9 Generatör modu şarj durumu

1. Akü akımı 2. Akü gerilimi 3. Motor gerilimi

Kullanılan bu motor gerilimi 100V'a geldiğinde 400W güç çekmektedir. Eş.5.5'den akünün verebileceği toplam güç;

$$P = U \times I \quad (5.5)$$

Üretici katalog değerlerinden 1,6 Volt deşarj sonu gerilimi için HR50 model akünün bir saat süre ile verebileceği sabit güç 383 Watt değerindedir. Buradan;

$$P_{akü} = 383 \text{ Watt} \times 4 \text{ akü}$$

$$P_{akü} = 1532 \text{ Watt} - \text{Saat}$$

olarak bulunur. Enerji akışının frenleme esnasında motordan aküye doğru olduğu durumlarda dikkate alındığında da, frenleme sayısına göre motorun çalışma süresi daha da uzayacaktır. Resim 5.9'da generatör modu ile belirlenen son bölümdeki enerji kaynağa geri aktarılmaktadır.

SONUÇ

Bu çalışmada bütün elektrikli araçlarda frenleme enerjisi geri kazanım sisteminin etkili bir biçimde kullanılabilmesi için iki yönlü enerji akışına olanak sağlayan, faz kaydırmalı çevirici tasarlanmış ve uygulanmıştır. Faz kaydırma teknolojisi ile akım dalgalanması en az seviyeye indirilerek sistemdeki kayıplar azaltılmış ve akü grubunun şarj deşarj ömrü uzatılmıştır. Yüksek frekansta anahtarlama yapılarak sistemdeki filtre boyutları küçültülmüştür. Bunun sonucunda güç dönüştürücünün ağırlığında azalma, boyutunda ise küçülme sağlanmıştır. Ayrıca filtre boyutlarının küçülmesi elektromanyetik etkilerinin de azalmasına neden olmuştur. Kontrol yazılımında, sistemin her çalışma evresinde denetleyici olarak PI denetim sistemi kullanılarak istenilen şarj gerilimi ve motor gerilimi %1 hassasiyetle kontrol edilmiştir. Sunulan dönüştürücü yapısı ile sistemin akü şarj ve motor sürme uygulamalarını tek kontrol ve güç ünitesi üzerinden yapılmıştır. Bu sayede kaybedilen enerjinin tekrar kazanılarak aracın gidebileceği mesafe artırılmıştır. Ayrıca güç kontrol sisteminin maliyeti azaltılarak elektrikli araçlarda kullanılması kolaylaştırılmıştır.

Fosil yakıtların emisyon ve gelecekte ihtiyacı karşılayamama durumu ile ulaşım araçlarında elektrik enerjisi kullanılması daha verimli olduğu ve gelecekte önemli bir yer kaplayacağı görülmektedir. Akülerin seçimi yapılırken, frenleme enerjisinden elde edilecek enerji ile en yüksek değerde anlık şarj olabilecek özelliklere sahip olması tavsiye edilmektedir. Dönüştürücü kol sayısı, elektrik motorunun büyüklüğü paralelinde çekeceği akıma göre seçilmelidir. Bu sayede sistemin verimliliği artarak aracın yol mesafesi artırılmış olacaktır. Gelecekte yapılacak çalışmalar için, sistemin gerçek bir elektrikli araç üzerinde test edilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Mapelli, F. L., Tarsitano, D.; Stefano, A., "Plug-In Hybrid Electrical Commercial Vehicle: Modeling and Prototype Realization", ***Electric Vehicle Conference (IEVC), 2012 IEEE International***, Milan, Italy, 1-8 (2012)
2. Lium, F., "30kW Power Boost System for Drive Trains for Electric Vehicles Based on Supercapacitor Technologies", M. Sc. Thesis ***Norwegian University of Science and Technology Department of Electrical Power Engineering***, Norway, 1-83, (2007)
3. Indian University, "Plug-in Electric Vehicles: A Practical Plan for Progress", ***School of Public and Environmental Affairs***, India, 1-78 (2012)
4. James, P., Forsyth, A., Calderon-Lopez, G., Pickert, V., "DC-DC converter for hybrid and all electric vehicles", ***EVS 24 Electric Vehicles Symposium***, Norway, 1-9 (2009)
5. Dwari, S. M., Parsa, L., "A Novel High Efficiency High Power Interleaved Coupled-Inductor Boost DC-DC Converter for Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle", ***IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference***, ABD, 399-404 (2007)
6. C. C. Chan., "The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles", ***Proceedings of the IEEE***, 90(2), 247-275, (2002)
7. Ünlü, N., Karahan, Ş., Tür, O., Uçarol, H., Özsu E., Yazar, A., Turhan, L., Akgün, F., Tırıs, M., "Elektrikli Araçlar", ***Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü***, Kocaeli, Türkiye, 1-145 (2003)
8. Krismer, F., Biela, J.; Kolar, J.W., "A Comparative Evaluation of Isolated Bi-directional DC/DC Converters with Wide Input and Output Voltage Range", ***Industry Applications Conference***, Vol.1., 599-606 (2005)
9. Xu, D., Zhao, C., Fan, H., "A Pwm Plus Shift Control Bidirectional DC-DC Converter", ***IEEE Transaction on Power Electronics***, Vol. 19, No. 3, 666-675 (2004)
10. Ma, G., Qu, W., Liu, Y., Liang, N., Li, W., "A Zero-Voltage-Switching Bidirectional DC-DC Converter With State Analysis and Soft-Switching-Oriented Design Consideration", ***IEEE Transaction on Industrial electronics*** Vol: 56, No: 6, 2174-2184 (2009)
11. Zhao, J. F., Jiang, JG., Yang, XW., "AC-DC-DC isolated converter with

- bidirectional power flow capability", *IET Power Electronics*, China, 3(4), 472-479 (2010)
12. Chan. C. C., "Electric Vehicles", *Electrical Engineering EOLSS* Vol.3, 1-9 (2001)
 13. Lai. J., "Electric Vehicles and Power Electronics", *Universidad Technica Federico Santa Maria*, Valparaiso, Chili, 1-41 (2001)
 14. Jalbrzykowski. S., Citko. T., "A bidirectional DC-DC converter for renewable energy systems", *Bulletin of the Polish Academy of Science* Vol. 57, No. 4, 363-368 (2009)
 15. Jiakai. X., Jiagiang. Y., Jian. G., "An Integrated Kinetic Energy Recovery System for Peak Power Transfer in 3-DOF Mobile Crane Robot", *IEEE/SICE International Symposium on System Integration*, Japan, 330-335 (2011)
 16. Moreno. J., Ortuzar. M. E., Dixon L. W., "Energy Management System for an Hybrid Electric Vehicle, Using Ultracapacitors and Neural Networks" *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, 53(2), 614-623 (2006)
 17. Rajarajeswari. N., Thanushkodi. K., "Design of an Intelligent Bi-Directional DC-DC Converter with Half Bridge Topology", *European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X*, 22(1), 90-97 (2008)
 18. Gargies. S., Wu. H., Mi. C., "Isolated Bidirectional DC-DC Converter for Hybrid Electric Vehicle Applications", *Michigan University*, ABD, 1-8 (2006)
 19. Nadia M. L. Tan., Abe. T., Akagi. H., "Topology and Application of Bidirectional Isolated DC-DC Converters", *8th International Conference on Power Electronics - ECCE Asia*, Korea, 1039-1046 (2011)
 20. Li. X., Ashoka. K. S., "Analysis and Design of High-Frequency Isolated Dual-Bridge Series Resonant DC/DC Converter", *IEEE Transaction on Power Electronics*, Vol.25, No: 4, 850-862(2010)
 21. Fang. Z., Li. H., Su. G. J., Lawler. S. J., "A New ZVS Bidirectional DC-DC Converter for Fuel Cell and Battery Application", *IEEE Transaction on Power Electronics*, Vol.19, No: 1, 54-65 (2004)
 22. Ni. L., Patterson. D. J., Hudgins. J. L., "High Power Current Sensorless Bidirectional 16-Phase Interleaved DC-DC Converter for Hybrid Vehicle Application", *IEEE Transaction on Power Electronics*, Vol.27, No: 3, 1141-1151 (2012)

23. Jalbrzykowski. S., Bogdan. A., Citko. T., "A Dual Full-Bridge Resonant Class-E Bidirectional DC–DC Converter", *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, Vol.58, No: 9, 3879-3883 (2011)
24. Jalbrzykowski. S., Citko. T., "Current-Fed Resonant Full-Bridge Boost DC/AC/DC Converter", *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, Vol.55, No: 3, 1198-1205 (2008)
25. Zhang. J., "Bidirectional DC-DC Power Converter Design Optimization, Modeling and Control", Phd. Dissertation, *Virginia Polytechnic Institute and State University*, ABD, 1-149 (2008)
26. Do. H. L., "Nonisolated Bidirectional Zero-Voltage-Switching DC–DC Converter", *IEEE Transaction on Power Electronics*, Vol.26, No: 9, 2563-2569 (2011)
27. Jaganathan. S., Gao. W., "Battery Charging Power Electronics Converter and Control for Plug-in Hybrid Electric Vehicle", *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, ABD, 440-447 (2009)
28. Ni. L., "Energy Storage and Management for a Small Series Plug-in Hybrid Electric Vehicle", Phd. Dissertation, *The Graduate College at the University of Nebraska*, Nebraska, 1-112, (2010)
29. Garcia. O., Zumel. P., Castro. A. D., Cobos. J. A., "Automotive DC–DC Bidirectional Converter Made With Many Interleaved Buck Stages", *IEEE Transaction on Power Electronics*, Vol.21, No: 3, 578-586 (2006)
30. Elmes. J., Kersten. J., Batarseh. I., Pepper. M., Mansfield. K., "Modular bidirectional DC-DC converter for hybrid/electric vehicles with variable-frequency interleaved soft-switching ", *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, ABD, 448-454 (2009)
31. College of Desert, "Hydrogen Fuel Cell Engines and Related Technologies", Rev.0, (2001)
32. Li. Y., Zeng. Q., Wang. C., Wang. L., "Research on Control Strategy for Regenerative Braking of a Plug-in Hybrid Electric City Public Bus", *Seconde International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*", Vol.1, 842-845 (2009)
33. Yoong. M. K., Gan. Y. H., Gan. G. D., Leong. C. K., Phuan. B.K., Cheah. B. K., Chew. K. W., "Studies of Regenerative Braking in Electric Vehicle", *Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology*, Proceeding of the IEEE Conference", 40-45 (2010)

34. Cao. B., Bai. Z., Zhang W., "Research on Control for Regenerative Braking of Electric Vehicle", *IEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety*, China, 92-97 (2005)
35. Dong. P., Jianwu. Z., Chengliang. Y., "Regenerative Braking Control System Improvement For Parallel Hybrid Electric Vehicle", *International Technology and Innovation Conference*, China, 1902-1908 (2006)
36. Wick. F., Donnelly. K., "Modelling Regenerative Braking and Storage for Vehicles", *Energy Conversion Engineering Conference*, Vol.3, ABD, 2030-2035 (1997)
37. Wang. F., Yin. X., Luoline. H., "A Series Regenerative Braking Control Strategy Based on Hybrid-Power", *International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring*, China, 65-69 (2012)
38. Choi. J., Cha. H., Han. B. M., "A Three-Phase Interleaved DC–DC Converter with Active Clamp for Fuel Cells", *IEEE Transaction on Power Electronics*, Vol.25, No: 8, 2115-2123 (2010)
39. Halvgaard. R., Poulsen. N. K., Madsen. H., Jorgensen. J. B., Marra. F., Bondy. D. E. M., "Electric Vehicle Charge Planning using Economic Model Predictive Control", *IEEE International Electric Vehicle Conference*, ABD, 1-6 (2012)
40. Friedeman. D., "A New Road, The Technology and Potential of Hybrid Vehicles", *Union of Concerned Scientists*, 1-70 (2003)
41. Larminie. J., Dicks. A., "Fuel Cell Systems Explained", *University of Queensland*, Australia, 1-443 (2003)
42. Vizyon 2023 Projesi Enerji ve Çevre Teknolojileri Strateji Grubu, "Enerji ve Çevre Teknolojileri Stratejisi", *İstanbul Teknik Üniversitesi*, Türkiye, 1-39 (2004)
43. Sakka. M. A., Mierlo. J. V., Gualous. H., " DC/DC Converters for Electric Vehicles" *Electric Vehicles Modelling and Simulation*, University of Caen Basse, University of Brussel, 309-332 (2010)
44. Ni. L., Patterson. D. J., Hudgins. J. L., "A High Power, Current Sensorless, Bi-directional, 16-phase Interleaved, DC-DC Converter for Hybrid Vehicle Application", *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, ABD 3611-3617 (2010)
45. Samosir. A. S., Taufiq., Shafie. A. J., Yatim. A. H. M., "Simulation and Implementation of Interleaved Boost DC-DC Converter for Fuel Cell

Application", *International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS)*, Vol.1, No.2, 168-174 (2011)

46. Samosir. A. S., Anwari. M., Yatim. A. H. M., "Dynamic Evolution Control of Interleaved Boost DC-DC Converter for Fuel Cell Application", *International Power Electronics Conference*, Singapore, 869-874 (2010)
47. Saleemi. F. M., "Analysis and Design Of Multiphase Multi Interleave Dc-Dc Converter With Input-Output Bypass Capacitor", *California Polytechnic State University*, ABD, 1-119 (2008)
48. Liccardo. F., Marino. P., Triggianese. M., "Interleaved DC-DC Converters for Photovoltaic Modules", *International Conference on Clean Electrical Power*, Italy, 201-207 (2007)
49. Kayatama. M., Sekiya. H., Yahagi. T., "An Interleaved class E2 DC/DC Converter", *IEEE International Symposium on Circuit and Systems*, ABD, 2833-2836 (2008)
50. Hegazy. O., Mierlo. J. V., Lataire. P., " Design and Control of Bidirectional DC/AC and DC/DC Converters for Plug-In Hybrid Electric Vehicles", *International Conference on Power Engineering and Electrical Drives*, Spain, 1-7 (2011)
51. Yu. W., Lai. J. S., " Ultra High Efficiency Bidirectional DC-DC Converter With Multi-Frequency Pulse Width Modulation", *IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, ABD, 1079-1084 (2008)
52. Bai. H., Mi. C., "The Impact of Bidirectional DC-DC Converter on the Inverter Operation and Battery Current in Hybrid Electric Vehicles", *IEEE 8th International Conference on Power Electronics*, Korea, 1013-1015 (2011)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÖKDEN, Faruk Burak
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 26.04.1984 Gölcük
 Medeni Hali : Evli
 Telefon : (0) 530 284 03 97
 Fax : (0) 262 724 83 18 - 19
 E-posta : farukburakgokden@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üni. / Elektrik Öğretmenliği	2010
Önlisans	Kocaeli Üni. / Endüstriyel Otomasyon	2005
Lise	Sabancı Anadolu Teknik Lisesi / Elektrik	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-	Hayat Holding	Enerji Uzmanı
2012-2013	Sine Enerji	Ar-ge
2010-2011	Tekno Otomasyon	Yazılım Uzmanı

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilgisayar, İnternet, Masa Tenisi, Müzik